

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**RESPOSTA FISIOLÓGICA DE ALFACE À SUBDOSES DE
MATURADORES UTILIZADOS EM CANA-DE-AÇÚCAR**

Juliana de Souza Rodrigues

Engenheira Agrônoma

2019

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**RESPOSTA FISIOLÓGICA DE ALFACE À SUBDOSES DE
MATURADORES UTILIZADOS EM CANA-DE-AÇÚCAR**

Juliana de Souza Rodrigues

Orientador: Prof. Dr. Pedro Luís da Costa Aguiar Alves

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

R696r

Rodrigues, Juliana de Souza

Resposta fisiológica de alface a subdoses de maturadores utilizados em cana-de-açúcar / Juliana de Souza Rodrigues. -- Jaboticabal, 2019
58 p. : tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Pedro Luís da Costa Aguiar Alves

1. Herbicidas. 2. Lactuca sativa. 3. Saccharum spp. 4. Herbicidas. I.
Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: RESPOSTA FISIOLÓGICA DE ALFACE À SUBDOSES DE MATURADORES UTILIZADOS EM CANA-DE-AÇÚCAR

AUTORA: JULIANA DE SOUZA RODRIGUES

ORIENTADOR: PEDRO LUÍS DA COSTA AGUIAR ALVES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. PEDRO LUÍS DA COSTA AGUIAR ALVES
Diretoria / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Dr. DÉCIO KARAM
Departamento de Fitossanidade-Embrapa Milho e Sorgo / Sete lagoas/MG

Prof. Dr. SILVANO BIANCO
Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 02 de agosto de 2019

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

JULIANA DE SOUZA RODRIGUES – nascida em 18 de novembro de 1985, na cidade de João Monlevade, estado de Minas Gerais, filha de Geralda Fátima de Souza Rodrigues e Jair Rodrigues. Fez sua graduação em Engenharia Agrônômica na Universidade Federal de São João Del Rei (UFSJ), campus Sete Lagoas, com conclusão em 2016. Durante a graduação, estagiou no laboratório de plantas daninhas da EMBRAPA Milho e Sorgo, sendo bolsista CNPQ e FAPED (2011 – 2014) e também realizou graduação sanduíche na Colorado State University, Colorado, Estados Unidos, como bolsista da CAPES/CNPq (2014 – 2015). Em 2017, ingressou no curso de Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal, na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - campus de Jaboticabal, com auxílio financeiro da CAPES, que viabilizou a realização deste trabalho.

“A única forma de chegar ao impossível é acreditar que é possível”

Lewis Carroll

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as oportunidades e por me dar força e saúde para continuar realizando meus sonhos.

À minha mãe Geralda, exemplo de perseverança e garra, por sempre colocar a educação como prioridade em minha vida. Agradecimentos nunca conseguirão expressar a imensa gratidão que é ter você como mãe.

Ao meu irmão Vinícius, sempre amigo, companheiro e paciente. Obrigada pela parceria! Aos meus avós Vicente (*in memoriam*) e Bárbara pelas orações e apoio incondicional e a todos meus familiares por sempre apoiarem e torcerem para que eu atinja meus objetivos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Pedro Luís da Costa Aguiar Alves, pela confiança, paciência, amizade e disponibilidade sempre que preciso. Gratidão!

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” pela oportunidade e acolhimento e à CAPES por fornecer recursos para que eu pudesse realizar este projeto. Aos professores Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho, Dr. Davi Rodrigo Rossatto, Dra. Mara Cristina Pessôa da Cruz e Dra. Priscila Lupino Gratão pelos auxílios prestados durante a condução deste trabalho.

Aos meus amigos do LAPDA, e um agradecimento especial à Mariluce Nepomuceno e José Martins por todo apoio, momentos de descontração, disponibilidade de ajuda, colaboração e pela amizade. Serei sempre grata!

Agradeço aos funcionários do Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária, em especial a Márcia, Aldo, Maria Lucina e Sônia, da Fisiologia Vegetal, que sempre foram muito solícitos sempre que precisei.

À banca de qualificação, composta pelos professores Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho e Dr. Leonardo Bianco de Carvalho, pelas valorosas correções/sugestões sobre o trabalho.

À Andreísa, Neriane e Renata, muito obrigada pela paciência e companheirismo durante esses dois anos. Vocês foram essenciais neste processo. Gratidão!

Aos meus amigos de mestrado Ariadne, Danilo e José Clebson. Vocês têm um lugar especial no meu coração! Obrigada pelos momentos de descontração e desabafos e por estarem sempre presentes.

Aos meus grandes amigos de Minas Gerais, em especial, Eliane, Fabrícia, José, Maria José, Maurício e Samuel pela força e incentivo sempre!

A todos que sempre torceram por mim, me ajudaram direta ou indiretamente, meu muito obrigada!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

SUMÁRIO

RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1 Alface	2
2.2. Cana-de-açúcar e Maturação	3
2.3. Maturadores de cana-de-açúcar	4
2.3.1. Sulfometuron-methyl	4
2.3.2. Glyphosate	5
2.3.3. Trinexapac ethyl	6
2.4. Tecnologia de aplicação de produtos e deriva	6
3. MATERIAL E MÉTODOS	7
3.1. Local do experimento	8
3.2. Material vegetal	9
3.3. Tratamentos e delineamento experimento	9
3.4. Tratos culturais adotados	11
3.5. Avaliações realizadas	11
3.6. Análise estatística	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
4.1. Experimento 1: cultivar ‘Lucy Brown’	12
4.1.1. Avaliação visual	12
4.1.2. Teor total de clorofilas	15
4.1.3. Eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm)	18
4.1.4. Número de folhas, massa fresca e massa seca	19
4.2. Experimento 2: cultivar ‘Vanda’	23
4.2.1. Avaliação visual	23
4.2.2. Teor total de clorofilas	26
4.2.3. Eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm)	29
4.2.4. Número de folhas, massa fresca e massa seca	32
4.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	34

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
6. ANEXOS.....	44

RESPOSTA FISIOLÓGICA DE ALFACE À SUBDOSES DE MATURADORES UTILIZADOS EM CANA-DE-AÇUCAR

RESUMO

É prática comum durante o cultivo da cana-de-açúcar o uso de maturadores de forma antecipar a colheita. No entanto, considerando que pode haver cultivos próximos, como o de hortaliças, é importante ressaltar os cuidados necessários quando dá aplicação destes produtos, que é realizada por via aérea, a fim de evitar a deriva. Culturas sensíveis, como a da alface, podem sofrer efeitos deletérios. Sendo assim, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da deriva dos maturadores glyphosate, trinexapac-ethyl e sulfometuron comumente utilizados em cana-de-açúcar no crescimento da alface 'Lucy Brown' e 'Vanda'. O experimento foi instalado em ambiente aberto do Laboratório de Plantas Daninhas (LAPDA), UNESP/FCAV nos meses de outubro e novembro. Mudanças de alface foram transplantadas para vaso com capacidade para 5 L, sendo cada planta a parcela experimental. O experimento foi constituído de 15 tratamentos estabelecidos no delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 3x5, com cinco repetições. O primeiro fator correspondeu aos maturadores e o segundo às subdoses, de forma a simular a deriva, sendo essas de 0, 3%, 6%, 9% e 12% da dose recomendada de cada produto, sendo aplicados quando as mudas apresentavam ao início da formação da cabeça, para a cultivar Lucy Brown e o estágio de 6 a 7 folhas para a cultivar Vanda. Após aplicação, as avaliações ocorreram aos 5, 10, 15 e 20 dias após aplicação (DAA). Foram realizadas avaliações visuais, com base na escala EWRC (1964), teor de clorofilas, eficiência quântica do fotossistema II, número de folhas, massa fresca e massa seca. Para a cultivar 'Lucy Brown' todos os produtos testados resultaram em danos visuais, redução no teor de clorofila aos 15 dias após aplicação, sem afetar a fluorescência da clorofila *a*, bem como redução da massa fresca e seca aos 20 dias após aplicação. Para a cultivar 'Vanda', sulfometuron methyl e trinexapac ethyl causaram danos visuais permanentes, enquanto para o glyphosate houve posterior recuperação das plantas. Os produtos reduziram os teores de clorofila, causaram alterações no fotossistema II, reduzindo a massa seca sem alterar número de folhas e massa fresca. Sendo assim, é possível concluir que já a partir de 3% da dose recomendada para maturação da cana-de-açúcar, o trinexapac-ethyl e sulfometuron methyl podem acarretar em grandes prejuízos à cultura da alface 'Lucy Brown' e 'Vanda', quando aplicados início da formação da cabeça e no estágio de 6 a 7 folhas, respectivamente, enquanto o glyphosate até a dose de 12% da dose recomendada não causou danos irreversíveis à cultura.

Palavras-chave: *Lactuca sativa*, pesticidas, *Saccharum spp*,

PHYSIOLOGICAL RESPONSE OF LETTUCE TO SUBDOSES OF SUGARCANE RIPENERS

ABSTRACT

It is common practice during the cultivation of sugarcane to use ripeners in order to anticipate the harvest. However, considering that there may be crops nearby, such as that of vegetables, it is important to emphasize the necessary care when applying these products, which is carried out by air, in order to avoid drifting. Sensitive crops, such as lettuce, can suffer deleterious effects. Therefore, the objective of this work was to evaluate the effect of the glyphosate, trinexapac-ethyl and sulfometuron ripening effects commonly used in sugarcane on 'Lucy Brown' and 'Vanda' lettuce growth. The experiment was installed in an open environment of the Laboratory of Weeds (LAPDA), UNESP / FCAV in the months of October and November. Lettuce seedlings were transplanted to a 5 L pot, each plant being the experimental plot. The experiment consisted of 15 treatments established in a randomized complete block design in a 3x5 factorial scheme, with five replications. The first factor corresponded to the ripeners and the second to the subdoses, in order to simulate the drift, being 0,3%, 6%, 9% and 12% of the recommended dose of each product, being applied when the seedlings presented at the beginning of the head formation, for the Lucy Brown cultivar and the 6 to 7 leaf stage for the Vanda cultivar. After application, the evaluations occurred at 5, 10, 15 and 20 days after application (DAA). Visual evaluations were performed based on the EWRC scale (1964), chlorophyll content, quantum efficiency of photosystem II, number of leaves, fresh mass and dry mass. For 'Lucy Brown' all products tested resulted in visual damage, reduction in chlorophyll content at 15 days after application, without affecting chlorophyll a fluorescence, as well as reduction of fresh and dry mass at 20 days after application. For the 'Vanda' cultivar, sulfometuron methyl and trinexapac ethyl caused permanent visual damages, whereas for glyphosate there was later recovery of the plants. The products reduced chlorophyll content, caused changes in photosystem II, reducing the dry mass without changing leaves number and fresh mass. Thus, it is possible to conclude that trinexapac-ethyl and sulphometuron methyl can lead to a great damage to the 'Lucy Brown' and 'Vanda' lettuce cultures, from 3% of the recommended dose for sugar cane maturation, when applied early head formation and at the stage of 6 to 7 leaves respectively while glyphosate up to the 12% dose of the recommended dose did not cause irreversible damage to the crop.

Key words: *Lactuca sativa*, pesticides, *Saccharum spp.*

1. INTRODUÇÃO

A área plantada de cana-de-açúcar no estado de São Paulo é uma das mais representativas quando comparada ao cenário nacional, com 5.686.134 ha, o que corresponde a 55% do total (IEA, 2017). Atrelado ao cultivo de cana-de-açúcar, o estado também possui forte representatividade no mercado de hortaliças. Segundo dados IEA, (2017), a área plantada no estado corresponde a aproximadamente 11.704 ha, com uma produtividade média de 40,60 t/ha. Jaboticabal configura entre os EDR's (Escritório de Desenvolvimento Rural) que engloba municípios com participação importante no cultivo da hortaliça no estado (Camargo Filho; Camargo, 2019). Desta forma, considerando as grandes áreas no estado explorando o cultivo da cana-de-açúcar e seu intenso uso de produtos fitossanitários, culturas em áreas próximas estariam suscetíveis caso algum manejo fosse realizado de forma errada. Sendo assim, levanta-se o questionamento de potenciais danos que a cultura da alface poderia sofrer, tendo em vista da necessidade dos tratamentos fitossanitários que é necessário realizar durante o cultivo da cana-de-açúcar. Um desses possíveis danos é um fenômeno conhecido como deriva e este poderia afetar plantios de alface em áreas adjacentes.

No cultivo da cana-de-açúcar, como forma de melhor planejar e otimizar o suprimento de matéria para o setor sucroenergético, o uso de maturadores é uma das etapas importantes do cultivo. O processo de maturação da cana-de-açúcar consiste em reduzir o crescimento vegetativo sem afetar o processo fotossintético da planta, de maneira que o saldo de produtos fotossintetizados e transformados em açúcares seja maior (Caputo et al., 2007). De acordo com Leite et al. (2011), no Brasil utilizam, preferencialmente, maturadores classificados como retardadores de crescimento como ethephon, trinexapac-ethyl e os inibidores de crescimento, sulfometuron-methyl e o glyphosate.

Como a aplicação de maturadores se dá por via aérea na cultura da cana-de-açúcar, aumenta-se o risco de ocorrer deriva destes produtos (Gandolfo, et al. 2013). A deriva é definida como o movimento de gotas de produtos fitossanitários além da área alvo, podendo ocorrer no momento da aplicação ou imediatamente após (USEPA, 2014). As gotas oriundas do momento da aplicação desses produtos podem ser arrastadas pelos ventos ou por correntes aéreas alcançando dessa forma áreas adjacentes. Assim,

atingem locais indesejados e favorecem a contaminação de áreas e culturas próximas (Miller, 1993). O efeito de maturadores em plantas não alvo resultante da deriva estão diretamente ligados à quantidade do princípio ativo que as alcança, variando desde a chamada dose cheia até subdoses diminutas, sendo as subdoses as que causam os efeitos mais recorrentes.

Poucos são os trabalhos que relacionam os efeitos da deriva de maturadores em culturas, sobretudo a de alface e, considerando a importância de seu cultivo, sua demanda no mercado consumidor e sua proximidade com a cultura da cana-de-açúcar, que é uma das principais usuárias de maturadores, levantou-se a hipótese de que a cultura é sensível e sofre danos decorrentes da deriva de maturadores, que dependerá da cultivar, do produto e de sua dose. Em virtude disso, objetivou-se avaliar os efeitos de subdoses de glyphosate, sulfometuron-methyl e trinexapac-ethyl no desenvolvimento de plantas de alface 'Lucy Brown' e 'Vanda'.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Alface

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma cultura originária de clima temperado, pertencente à família Asteraceae e de ciclo anual (Filgueira, 2000). O gênero *Lactuca* possui em torno de 100 espécies conhecidas. É considerada uma das hortaliças mais importantes do mercado brasileiro, sendo introduzida no país durante a colonização portuguesa. É uma planta herbácea, de caule diminuto e as folhas são a parte comestível da planta, podendo esta ser lisa ou crespa, formando ou não cabeça, com sistema radicular ramificado e superficial (IAC, 2005).

No Estado de São Paulo, segundo dados da CEAGESP (2016), a alface é o 18º produto mais comercializado, com um equivalente de 54.272 toneladas. Já no mercado nacional, o comércio movimentou o montante de R\$ 8 bilhões no varejo, para uma produção de mais de 1,5 milhão de toneladas ao ano (FAEMG, 2015). Segundo Henz e Suinaga (2009), os tipos morfológicos principais consumidos no mercado brasileiro são a repolhuda lisa, repolhuda crespa ou americana, solta lisa, solta crespa, solta crespa

roxa e tipo romana. As alfaces mais comercializadas na Ceagesp são dos grupos Americana (47%), Crespa (38,5%), Mimosa (5,9%), Lisa (4,28%) e Romana (1%). A 'Lucy Brown' pertence ao grupo das Americanas e a 'Vanda' pertence ao grupo das Crespas.

No Brasil, são quatro os sistemas de cultivos utilizados, sendo eles: sistema orgânico e convencional em campo aberto e também cultivo protegido do sistema hidropônico e no solo (Resende et al., 2007). A alface cultivada no sistema convencional é o mais representativo em termos de área e produção e concentram-se em sua maioria próxima aos grandes centros urbanos (Henz e Suinaga, 2009). A alface, embora cultivada o ano todo, se adapta melhor em temperaturas amenas, sendo as variações de rendimento e performance características específicas de cada cultivar e do ambiente (Oliveira et al., 2004).

Os fatores climáticos desempenham papel importante para o bom desenvolvimento da cultura da alface. A intensidade luminosa e temperaturas elevadas são fatores que predispõe a cultura a redução do ciclo e antecipação da fase reprodutiva (Bezerra Neto et al. 2005). A temperatura máxima tolerável fica em torno 30°C para grande parte das cultivares, com variação ótima de 4 a 27°C (Duarte et al. 1992).

2.2. Cana-de-açúcar e Maturação

A cana de açúcar (*Saccharum* spp.) é uma gramínea semi-perene que pertence à família Poaceae. A cultura apresenta quatro estádios fenológicos bem distintos, sendo: o primeiro corresponde a brotação e emergência dos brotos, com duração de 30 a 60 dias; o segundo estágio compreende o perfilhamento e estabelecimento da cultura, com duração de 60 a 90 dias; o terceiro estágio, sendo a fase de crescimento, do perfilhamento ao início do acúmulo de sacarose, que dura de 180 a 210 dias e, por fim, o estágio de maturação, no qual ocorre intenso acúmulo de sacarose, durando 60 a 90 dias (Gascho e Shih, 1983).

A maturação é definida como processo fisiológico em que ocorre a síntese de açúcares nas folhas e sua posterior translocação e estocagem nos colmos. Este é um processo que ocorre desde o início do crescimento da cana-de-açúcar até o desenvolvimento dos seus colmos. Para que o acúmulo de sacarose ocorra, é necessário

que a cultura atravessasse uma fase em seu ciclo em que haja restrições de crescimento, sejam elas impostas por condições climáticas adversas, escassez de nutrientes e deficiência hídrica. Assim, a planta inibe seu crescimento e inicia o processo de maturação (Rodrigues, 1995).

Visando atender a demanda do mercado por álcool, açúcar e subprodutos da cultura e mesmo sob condições que favoreçam a maturação, o uso de indutores de maturação é desejável (Castro, 2000). Os maturadores são definidos como reguladores vegetais que atuam promovendo alterações no crescimento da planta, proporcionando assim aumento dos níveis de sacarose, por atuar sobre as enzimas que catalisam a reações de conversão e acúmulo no colmo (Caputo et al., 2007). São substâncias sintéticas que possuem ação similar a hormônios conhecidos como auxinas, giberelinas, citocininas, dentre outros, que agem inibindo, promovendo ou modificando processos morfológicos e fisiológicos (Almeida et al., 2003). Desta forma, maturadores são utilizados na cultura para antecipar e otimizar o processo da colheita (Caputo et al., 2005) e podem ser aplicados em diferentes fases da cultura.

2.3. Maturadores de cana-de-açúcar

Em áreas comerciais, é aconselhado o uso de cultivares adequadas e que favorecem o processo de maturação. Dentre os maturadores mais utilizados, pode-se citar o sulfometuron-methyl, glyphosate e trinexapac-ethyl.

2.3.1. Sulfometuron-methyl

O grupo das sulfoniluréias, o qual se inclui o sulfometuron-methyl, pertence a classe de herbicidas inibidores da ALS e agem inibindo a enzima acetolactato sintase. A ALS é a primeira enzima da rota da síntese de aminoácidos de cadeia ramificada, valina, isoleucina e leucina. Após absorção, são translocados rapidamente para regiões de crescimento ativo, interferindo na síntese dos aminoácidos citados, resultando na morte da planta.

As sulfoniluréias caracterizam-se por ser grupo com alto nível de atividade em baixas dosagens de aplicação. As moléculas deste grupo são altamente ativas via solo

e via foliar e apresentam rota de translocação pelo apoplasto e simplasto. Os primeiros herbicidas deste grupo começaram a ser comercializados mundialmente a partir de 1982 e de acordo com Oliveira Jr. (2011), é considerado o grupo com maior quantidade de produtos desenvolvidos nos últimos anos.

Os sintomas decorrentes da aplicação não são aparentes nos primeiros dias após aplicação. Quando ocorrem, é possível observar redução de crescimento da parte aérea, amarelecimento das pontas, aparecimento de pontos na cor púrpura em dicotiledônas, bandas cloróticas em gramíneas, nervuras vermelhas e clorose internerval (Marchi et al., 2008).

Quanto a aplicação, recomenda-se uma aplicação por ciclo da cultura, sendo entre 40 e 60 dias antes do corte da cana-de-açúcar em pleno desenvolvimento vegetativo (Curavial, 2018)

2.3.2. Glyphosate

O glyphosate, pertencente ao grupo dos herbicidas inibidores da enzima EPSP, atua inibindo a síntese dos aminoácidos aromáticos triptofano, tirosina e fenilalanina. Esta inibição ocorre pelo acúmulo de shikimato na planta e conseqüentemente, inibição na produção dos aminoácidos aromáticos. Esses aminoácidos são essenciais para o crescimento da planta, sendo precursores de hormônios e flavonóides (Ross e Childs, 1996).

Sendo utilizado como herbicida, é classificado como não seletivo e pós-emergente. Seu uso em pré-emergência não é indicado pois sofre forte adsorção às partículas do solo e desta forma, não é absorvido pelas plantas. Sua absorção se dá de forma lenta pelas folhas, via simplasto, e é translocado para regiões meristemáticas, juntamente com os fotoassimilados (Peterson et al., 1978).

Os primeiros sintomas observados são a clorose foliar seguida de necrose. Podem ser observados também enrugamento, mal-formações, necrose de meristema e rizomas. Geralmente, os sintomas se desenvolvem lentamente, necessitando de vários dias e alguns casos semanas (Yamada; Castro, 2007).

Quanto à aplicação, o glyphosate pode ser utilizado em qualquer época da safra. No início, visando antecipar a maturação devido a condições pouco favoráveis de

maturação natural; meio de safra, objetivando maximizar a qualidade da matéria prima, bem como antecipar a colheita e uso da área para plantio de cana de ano ou outras culturas e por fim, no final de safra, visando manter a qualidade da maturação e evitando sua redução comum no início do período chuvoso (RoundUp Original, 2018)

2.3.3. Trinexapac ethyl

O trinexapac-ethyl age, por sua vez, inibindo a síntese de formas ativas do ácido giberélico, um regulador vegetal que atua na divisão celular e crescimento da planta. Uma vez absorvido pelas folhas, temporariamente inibe a conversão da forma inativa (G_{20}) do precursor do ácido giberélico em sua forma ativa (G_1). Desta forma, há um acúmulo de G_{20} enquanto a supressão de G_1 resulta na inibição do crescimento vegetativo, favorecendo o acúmulo de sacarose no colmo da cana-de-açúcar (Van Heert et al., 2015). Quando aplicado na época correta, favorece o acúmulo de sacarose nos colmos, o que de acordo com Resende et al. (2000), reduz a produção do ácido giberélico e alarga as paredes celulares facilitando o acúmulo de açúcar.

Quanto à época de aplicação, este pode ser utilizado no início de safra, visando inibição do florescimento e antecipação da colheita; no meio da safra, para explorar o máximo potencial do acúmulo de sacarose e no final de safra, para manter o nível de sacarose acumulado. Os maiores resultados relativos ao acúmulo de açúcar são observados entre 45 a 75 dias após a aplicação (Moddus, 2018).

2.4. Tecnologia de aplicação de produtos e deriva

A tecnologia de aplicação, segundo Matuo (1990), consiste na correta deposição do produto no alvo, em quantidade necessária, de forma econômica e com o mínimo de dispersão em áreas adjacentes.

As gotas oriundas do momento da aplicação de produtos fitossanitários podem, além de atingir o alvo desejado, também serem arrastadas pelos ventos ou por correntes aéreas alcançando dessa forma áreas adjacentes. Assim, além das perdas, as gotas resultantes da deriva atingem locais indesejados e favorecem a contaminação de áreas e culturas próximas (Miller, 1993, Christofolletti, 1999, Raetano, 2011). Erros na escolha

da ponta de pulverização, aplicações em condições ambientais inadequadas dentre outros, são fatores que intensificam esse fenômeno.

Na literatura há diversos relatos sobre os efeitos da deriva de herbicidas, principalmente o glyphosate, em culturas não alvo. Sintomas de intoxicação foram observadas em café, resultando em necrose foliar (França et al., 2009); clorose e necrose em algodão, resultando em morte da planta (Yamashita; Guimarães, 2006); intoxicação em eucalipto (Tuffi Santos et al., 2006), injúrias no maracujazeiro amarelo, reduzindo o crescimento e desenvolvimento das plantas (Wagner Júnior, et al., 2008) dentre outros. Para glyphosate e sulfometuron methyl, Gavassi et al. (2018) constataram injúrias visuais em *Citharexylum myrianthum*, quando do uso de subdoses, já aos 7 dias após aplicação. Para outros herbicidas, como o 2,4 D e nicosulfuron, também há registros de injúrias em culturas como tomate (Fagliari et al., 2004), algodão e tabaco (Constantin et al., 2007). A deriva de clomazone e a mistura clomazone + ametryn causaram necrose em laranjeiras 'Hamlin' (Timossi; Alves, 2001); clomazone e sulfentrazone resultaram também em folhas necrosadas em eucalipto (Takahashi et al., 2009).

Para a alface, Gaspar et al. (2017) estudaram a deriva simulada de herbicidas utilizados em milho e verificaram que a deriva simulada de 2,4 D, mesotrione e isoxaflutole resultaram em efeitos fitotóxicos severos na cultivar Crespa, enquanto para 'Brunela' os efeitos de 2,4-D e mesotrione foram os mais intensos. Moro et al. (2012) verificou que a simulação de deriva de produtos fitossanitários em plantas jovens de alface 'Great Lakes' proporcionou maior grau de intoxicação com o herbicida clomazone em todas as subdoses e dos herbicidas sulfentrazone, carfentrazone-ethyl e amicarbazone nas subdoses 0,5 e 1,0%. No entanto, houve recuperação dos sintomas em um curto período, não afetando em sua produtividade. Já em plantas de alface mais desenvolvidas, o grau de intoxicação foi elevado para os produtos amicarbazone, sulfentrazone, carfentrazone-ethyl, clomazone, 2,4-D, trinexapac-ethyl, não havendo tempo para recuperação e desenvolvimento adequado das plantas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local do experimento

Os experimentos foram conduzidos nos meses de outubro e novembro de 2018 em ambiente aberto do Laboratório de Plantas Daninhas (LAPDA), pertencente ao Departamento de Biologia Aplicada a Agropecuária, UNESP/Jaboticabal, SP. A localização geográfica está definida pelas coordenadas 21°14'05" latitude sul e 48°17'09" longitude oeste. O clima da região é definido como Cwa, subtropical, de acordo com a classificação de Koeppen. Durante o experimento, a temperatura média do ar foi de 24° C, com 72% de umidade relativa.

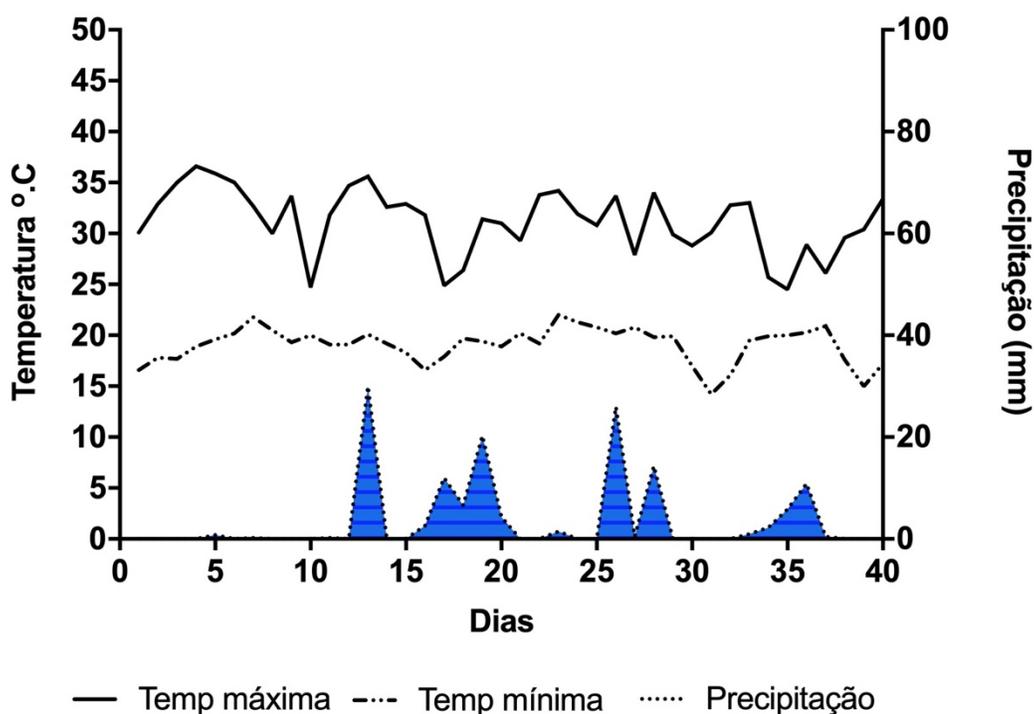


Figura 1. Dados climáticos referentes ao período de execução do experimento, abrangendo desde a data do transplante até a última avaliação. Jaboticabal, SP, 2018.

Foram utilizados vasos com capacidade para 5 L, preenchidos com uma mistura de substrato hortícola BioPlant® com terra, na proporção de 2:1 (v:v). A análise correspondente a mistura utilizada como substrato no experimento está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados da análise química de uma amostra da mistura utilizada como

substrato. Jaboticabal, SP, 2018.

pH em CaCl ₂	M.O. g dm ⁻³	P	S	Ca	Mg	K	Sb	CTC	V%
5,5	49	138	95	48	33	10,4	91,8	112,2	82

3.2. Material vegetal

Para avaliar os efeitos de deriva simulada em alface, foram utilizadas as cultivares Lucy Brown e Vanda, sendo estas bem adaptadas às condições climáticas da região de Jaboticabal e apropriadas para a época do presente experimento.

As mudas foram adquiridas de um fornecedor local e encontravam-se com média de 4 folhas. Procedeu-se a aclimação das mesmas, mantendo-as sob sombrite com interceptação de 30% da luz por 2 dias. Após aclimação, o transplante das mudas foi realizado, mantendo-se uma planta por vaso, sendo esta considerada a parcela experimental.

Lucy Brown é uma cultivar pertencente ao grupo morfológico americana. As alfaces classificadas como americana ou repolhuda, formam folhas lisas amanteigadas ou folhas crespas consistentes, superpostas com cabeça compacta. Em condições de cultivo favoráveis, apresenta folhas externas de cor verde escura e crocantes, características essenciais que atendem a um mercado cada vez mais exigente (Mota et al., 2003). Já a cultivar Vanda, pertence ao grupo das alfaces soltas crespas. Possui folhas grandes e crespas, textura macia, mas consistente, sem formação de cabeça e pode ter coloração verde ou roxa, dependendo da variedade (Henz;Suinaga, 2009).

3.3. Tratamentos e delineamento experimento

Para avaliar os efeitos da deriva sobre a alface, os tratamentos consistiram de 4 subdoses dos produtos sulfometuron methyl, trinexapac ethyl e glyphosate, correspondentes a 3%, 6%, 9% e 12% da dose recomendada de cada produto, mais a dose 0 referente a testemunha. As subdoses utilizadas estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Subdoses dos maturadores de cana-de-açúcar utilizadas como tratamentos experimentais.

Nome comum	Dose ¹	Dose	
		%	g. i.a. ou e.a.ha ⁻¹
Sulfometuron methyl*	15 g i.a. ha⁻¹	0	0
		3	0,45
		6	0,90
		9	1,35
		12	1,80
Trinexapac-ethyl	200 g i.a. ha⁻¹	0	0
		3	6
		6	12
		9	18
		12	24
Glyphosate (Sal de Isopropilamina)	216 g e.a. ha⁻¹	0	0
		3	6,48
		6	12,96
		9	19,44
		12	25,92

¹Dose utilizada com função de maturador em cana-de-açúcar; i.a. –ingrediente ativo; e..a. – equivalente ácido; *Adição de óleo mineral 0,1% v/v.

Foi definido como estágio de aplicação nas alfaces a correspondência ao início da formação da cabeça, para a cultivar Lucy Brown (ciclo médio de 75 dias) e o estágio de 6 a 7 folhas para a cultivar Vanda (ciclo médio de 60 dias), de acordo com o proposto pela a escala BBCH (2001). A aplicação dos produtos foi realizada em sala de pulverização fechada, com o auxílio de um pulverizador costal à pressão constante (CO₂), acoplado a uma barra contendo quatro pontas de pulverização do tipo “leque” (XR11002) com distância entre bicos de cinquenta centímetros e regulado para um gasto de volume de calda de 200 L ha⁻¹. No momento da aplicação, a temperatura média do ar era de 20,7°C e umidade relativa de 60%.

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados em esquema de fatorial 3 x 5, com cinco repetições. O primeiro fator correspondeu aos produtos e o segundo às subdoses.

Os vasos foram mantidos sob sombrite, com interceptação de 30% da luz,

3.4. Tratos culturais adotados

Foram realizadas adubações de cobertura aos 10, 20 e 30 dias após o transplante (DAT), adotando-se a dose mínima recomendada por Trani et al. (1997), de 60 kg ha⁻¹ de N, aplicadas na lateral de cada planta.

Durante a condução do experimento, não houve restrição de água, sendo os vasos irrigados diariamente. A fim de evitar a interferência de plantas daninhas no experimento, estas foram removidas via capina manual, quando necessário.

3.5. Avaliações realizadas

Aos 5, 10, 15 e 20 dias após a aplicação (DAA), foram realizadas

- avaliações visuais de fitointoxicação baseadas nos critérios estabelecidos pela ERWC (1964), em que são atribuídas notas que variam de 1 que corresponde a ausência de danos, até a nota 9, que corresponde a perda total da planta;
- quantificações do conteúdo relativo de clorofila total por meio de um clorofilômetro (ClorofiLog, Falker), sendo realizadas três leituras por folha (índice FALKER)
- determinações da eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) por meio de um fluorímetro (Mini PAM, WALZ, Germany) em que presilhas foram colocadas na folha a ser medida, permanecendo no escuro por cerca de 15 minutos antes da leitura. Todas as medidas foram realizadas na quarta folha basal de cada planta.

Aos 20 DAA, as plantas de alface foram cortadas rente ao solo, desfolhadas, separando-se as folhas comerciais das não comerciais, contadas, pesadas (massa fresca) e acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados e colocados em

estufa de circulação forçada de ar (60°C) até massa constante, e foram pesadas para determinação da massa seca.

3.6. Análise estatística

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância (teste F), com as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade no programa Agroestat e submetidos a análise de regressão no Graphpad Prism 7.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Experimento 1: cultivar ‘Lucy Brown’

4.1.1. Avaliação visual

Na avaliação visual de intoxicação da alface, constatou-se diferença estatística para maturadores e subdoses utilizadas, bem como a interação entre os fatores até os 15 dias após a aplicação (DAA). Todos os produtos testados causaram injúria visual, com leve amarelecimento das folhas jovens. Aos 20 DAA, foi possível apenas observar diferenças nos efeitos das subdoses, mas a interação não foi significativa, conforme pode ser observado na Tabela 3.

Na análise de desdobramento maturadores versus subdoses, como pode ser observado na Figura 2, os primeiros sintomas detectados foram aos 5 DAA, com o aparecimento de leve amarelecimento das folhas com a subdose de 3% de sulfometuron methyl, enquanto para o glyphosate foram observadas alterações apenas com a maior subdose aplicada (12%). Comparando as subdoses dos produtos, somente o sulfometuron methyl proporcionou injúria na menor subdose utilizada, demonstrando que aos 5 DAA já é possível detectar um possível sinal de deriva deste maturador em alface. Já o trinexapac-ethyl não proporcionou nenhum sintoma de intoxicação aos 5 DAA.

Tabela 3. Valores médios das notas de intoxicação de plantas de alface ‘Lucy Brown’ atribuídas aos 5, 10, 15 e 20 dias após a aplicação (DAA) de subdoses dos maturadores, com base na escala ERWC (1964). Jaboticabal/SP, 2018.

	5 DAA	10 DAA	15 DAA	20 DAA
MATURADORES				
Glyphosate	1,20	1,32	1,56	2,48
Sulfometuron methyl	1,96	1,56	1,68	2,76
Trinexapac-ethyl	1,00	3,68	3,32	3,08
Dms	0,2292	0,3724	0,4730	0,6369
SUBDOSES (%)				
0	1,00	1,00	1,00	1,00 d
3	1,46	2,13	1,93	1,60 cd
6	1,33	2,53	2,40	2,53 bc
9	1,40	2,53	2,60	3,26 b
12	1,73	2,73	3,00	5,46 a
Dms	0,3465	0,5628	0,7148	0,9626
F(Maturadores)	56,59**	141,03**	50,11**	2,58 ns
F(Subdoses)	9,24**	24,46**	18,27**	51,77**
F(MxS)	6,59**	10,44**	3,99**	0,56 ns
Blocos	1,00 ns	1,72 ns	0,72 ns	1,32 ns
CV (%)	24,27	25,00	31,76	33,72

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, **significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo.

Aos 10 DAA, excetuando-se o glyphosate que proporcionou sintomas a partir de 6% de deriva, o sulfometuron methyl e trinexapac-ethyl causaram sintomas em todas as subdoses testadas. Cabe ressaltar que foram necessários 10 dias para que os primeiros efeitos pudessem ser observados para o trinexapac-ethyl e estes, quando observados, corresponderam a maior média de notas de toxicidade atribuídas, não diferindo estatisticamente entre as subdoses. Para o glyphosate e sulfometuron methyl, as médias de notas evoluíram conforme o incremento das subdoses. Aos 15 DAA, todas as subdoses testadas resultaram em injúrias nas plantas de alface.

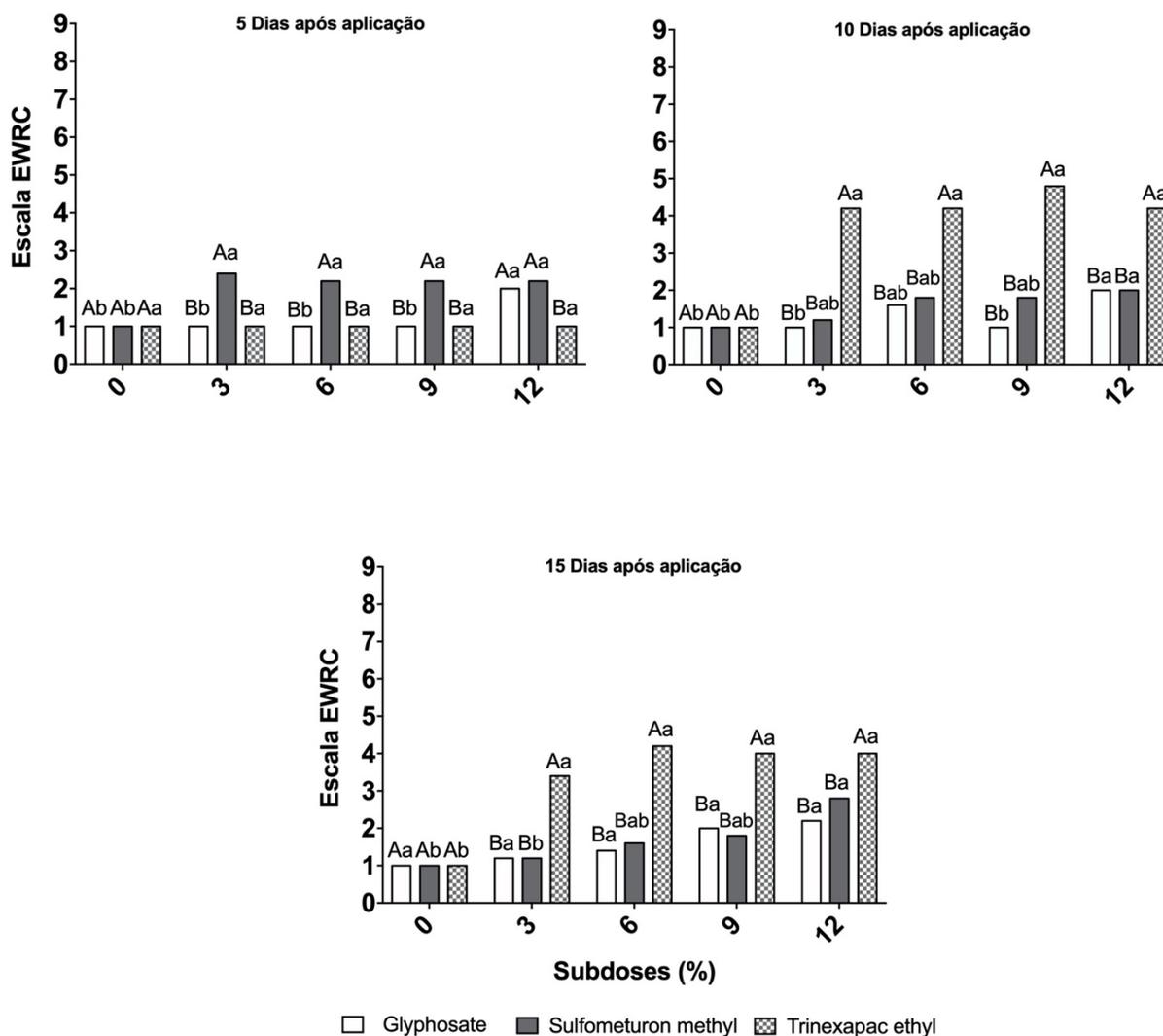


Figura 2. Valores médios de notas visuais de fitointoxicação da alfaca cultivar ‘Lucy Brown’ atribuídas dos 5 aos 15 dias após a aplicação de subdoses dos produtos Jaboticabal, SP, 2018. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que letras minúsculas comparam as subdoses dentro de cada produto e maiúsculas comparam produtos dentro das subdoses.

Os sintomas de injúria normalmente observados quando do uso de glyphosate são aparentes a partir do terceiro ao quinto dia após aplicação e incluem nanismo, amarelecimento da folhagem e lenta morte da planta (Marchi et al., 2008). Para o presente trabalho, os sintomas observados aos 20 DAA foram á má formação da cabeça, com folhas retorcidas e não havendo fechamento da cabeça (anexo 1). Contrariamente, Felisberto (2015) concluiu que para o milho, em estágio V4 e V8, não houve dano

decorrente da aplicação de glyphosate nas mesmas subdoses testadas neste trabalho. Desta forma, percebe-se que os sintomas variam muito entre espécies.

Já para os inibidores da ALS, os sintomas não são aparentes até vários dias após o tratamento com o produto. A inibição da ALS interrompe a síntese de aminoácidos, que resulta na paralização do crescimento da parte aérea, nanismo, amarelecimento de ponta. Ocorre ainda o desenvolvimento de pigmentos púrpuras em folhas de dicotiledôneas, bandas cloróticas em gramíneas, nervuras vermelhas e clorose internerval. As raízes ficam reduzidas em número e tamanho (Ross; Childs, 1996; Marchi et al. 2008). Felisberto (2015), testando o efeito de subdoses de sulfometuron methyl na cultura do milho, concluiu que nos estádios V4 e V8 as plantas foram sensíveis a subdoses a partir de 0,45 g i.a. ha⁻¹, apresentando desenvolvimento comprometido. Já no presente trabalho, foi possível observar a presença de folhas retorcidas (subdose de 3%) e diminuição da cabeça e folhas retorcidas (na subdose referente a 12%) (anexo 1). De acordo com Oliveira Júnior (2011), herbicidas derivados das sulfoniluréias apresentam alto nível de atividade em doses muito pequenas, o que pode explicar os resultados de fitotoxicidade obtidos.

O trinexapac ethyl resultou, no presente experimento, em plantas com crescimento e emissão de folhas retorcidas na menor subdose, enquanto para a maior subdose testada, 12%, observou-se uma planta de menor tamanho aos 20 DAA (anexo 1). De acordo com Taiz e Zieger (2017,) as partes aéreas de plantas produzem reguladores de crescimento, que são translocados por toda a planta no sistema vascular, como é o caso das giberelinas. Os hormônios apresentam um papel importante nas regulações fonte dreno, como distribuição de fotoassimilados, crescimento do dreno, senescência foliar e demais processos de desenvolvimento. No entanto, quando ocorre inibição da forma ativa da giberelina, observa-se redução no crescimento da planta e, de acordo com Ervin;Koski (2001), esta se dá pela redução do alongamento celular e não da divisão celular.

4.1.2. Teor total de clorofilas

Na avaliação do teor de clorofila total, não foram detectadas diferenças

estatísticas na interação maturadores e subdoses aos 5, 10 e 20 DAA, sendo apenas observadas diferenças entre maturadores e entre subdoses testadas. Já aos 15 DAA, tanto maturadores, quanto subdoses e interação foram estatisticamente diferentes, como pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4. Valores médios para os teores de clorofila total em folhas de alface cultivar ‘Lucy Brown’ avaliados aos 5, 10, 15 e 20 dias após a aplicação (DAA) de subdoses dos maturadores. Jaboticabal, SP, 2018.

	5 DAA	10 DAA	15 DAA	20 DAA
MATURADORES				
Glyphosate	24,46 a	24,76	21,70	22,16
Sulfometuron methyl	22,31 b	24,27	22,46	21,56
Trinexapac-ethyl	23,96 a	24,51	23,18	21,02
Dms	1,6470	1,6350	1,0530	1,3085
SUBDOSES (%)				
0	28,86 a	27,42 a	26,77	27,21 a
3	23,50 b	24,33 b	23,16	21,35 b
6	22,65 b	22,72 b	21,05	20,15 bc
9	21,41 b	23,66 b	21,27	20,15 bc
12	21,44 b	24,46 b	19,97	19,03 c
Dms	2,4893	2,4712	1,5916	1,9778
F(Maturadores)	5,39**	0,26 ns	5,78**	2,20 ns
F(Subdoses)	24,40**	8,07**	44,99**	42,98**
F(MxS)	1,61 ns	1,37 ns	4,18**	0,63 ns
Blocos	1,38 ns	1,47 ns	0,95 ns	3,28*
CV (%)	10,25	9,79	6,68	8,90

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, **significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo.

Comparando-se os efeitos da interação, pela análise desdobramento representada na Figura 3, os efeitos das subdoses ajustaram-se a regressão linear para o sulfometuron methyl e quadrática para glyphosate e trinexapac-ethyl. A subdose estimada de 8% para glyphosate e 10% para trinexapac-ethyl proporcionaram maior redução no teor de clorofila total, representando uma diminuição de aproximadamente 28% e 20%. Já para o sulfometuron methyl, a subdose de 12% proporcionou a maior

redução nas leituras dos teores de clorofila, culminando com 30%.

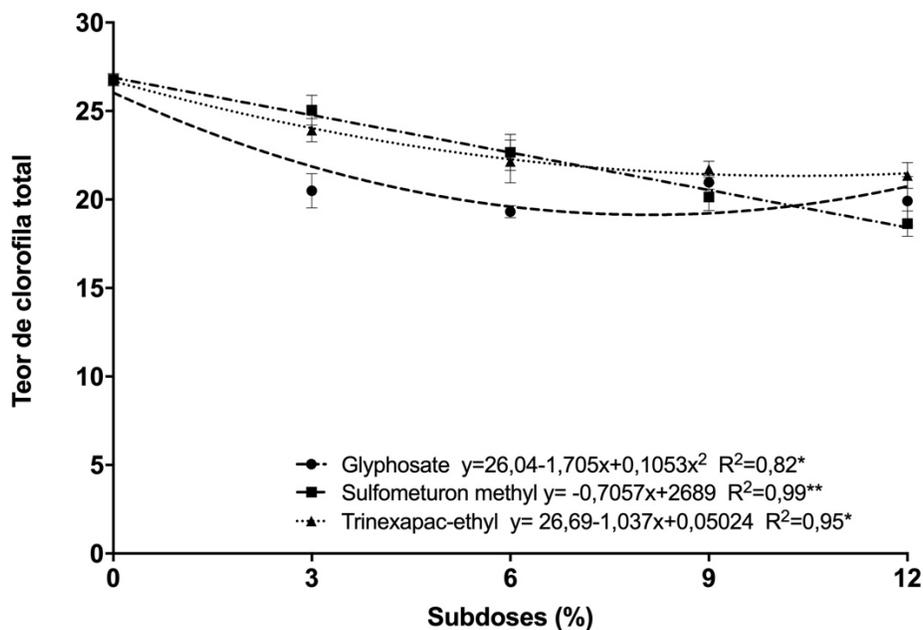


Figura 3. Teor de clorofila total em folhas de alface cultivar 'Lucy Brown' aos 15 DAA em função das subdoses dos maturadores, sendo *significativo a 5% e **significativo a 1% pelo teste F.

Como foi observado neste trabalho, a redução gradativa dos teores de clorofila total ao longo dos dias, culminando na redução significativa aos 15 DAA (Figura 3) pode estar relacionada ao estresse causado pelos produtos. Para Santos (2004), a diminuição do teor de clorofila tanto pode estar relacionada ao aumento da degradação da clorofila, bem como uma redução na síntese de clorofila e tais variações podem ser uma forma de monitorar os danos subsequentes no desenvolvimento e crescimento de plantas (Song et al., 2007).

Gomes et al. (2016) explicam que os efeitos fisiológicos do glyphosate tem sido recentemente estudados, demonstrando que existem possíveis danos ao fotossistema II bem como influências na cadeia transportadora de elétrons. A redução da eficiência do sistema fotossintético é associada a redução nos teores de clorofila, mas para a cultivar de alface 'Lucy Brown', como foram testadas apenas subdoses do que é recomendado como maturador, estas podem não terem sido suficientes para danificar o aparato fotossintético.

Alguns trabalhos realizados utilizando o trinexapac-ethyl como regulador de crescimento em gramados, reportaram seu efeito positivo no aumento do conteúdo de clorofila nas plantas avaliadas (Ervin; Koski, 2001; Fan et al., 2009). Em contrapartida, Han et al. (2008) estudando os efeitos sobre o tráfego nas gramas *Poa pratensis*, *Festuca arundinacea* e *Zoysia japonica* constataram reduções nos teores de clorofila total. O acúmulo de radicais livres resultante do estresse pode ser uma explicação para a redução da clorofila (Shaaltiel; Gressel, 1986). Desta forma, altos níveis de estresse podem resultar na redução do teor de clorofila, corroborando os resultados encontrados ao longo dos dias avaliados neste trabalho. Como já mencionado anteriormente, os resultados decorrentes do estresse variam com a espécie, intensidade, época de aplicação e também estágio de desenvolvimento.

Para o sulfometuron methyl, embora alterações no aparato fotossintético não sejam o alvo principal do grupo das sulfonilúreias, alguns autores relataram alterações no conteúdo de clorofila e na fluorescência da clorofila (Judy et al., 1990). Riethmuller-Haage et al. (2006), avaliando a fotossíntese de *Solanum nigrum* após aplicação de metsulfuron-methy, na dose de 16 g i. a. kg ha⁻¹, constataram alterações no conteúdo de clorofila quando comparados à testemunha, com redução de até 45% no teor de clorofila aos 4 dias após tratamentos. Estes autores também sugerem que a perda de clorofila se dá num ambiente eficientemente organizado, que mesmo em condições de estresse conseguem contrabalancear e manter o aparato fotossintético em funcionamento. Em consonância ao que foi observado por estes autores, no presente trabalho as plantas de alface que receberam 12% da dose recomendada reduziram em até 30 % o conteúdo de clorofila aos 15 DAA.

4.1.3. Eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm)

Na avaliação da eficiência quântica do fotossistema II para a cultivar Lucy Brown, a interação entre maturadores e subdoses não foi significativa em nenhuma das avaliações realizadas, como pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 5. Valores médios da razão de fluorescência da clorofila a (Fv/Fm) medida em folhas de alface cultivar 'Lucy Brown' avaliada aos 5, 10, 15 e 20 dias após a aplicação (DAA) de subdoses dos maturadores. Jaboticabal, SP, 2018.

	5 DAA	10 DAA	15 DAA	20 DAA
MATURADORES				
Glyphosate	0,768 a	0,741	0,757	0,753
Sulfometuron methyl	0,723 b	0,724	0,769	0,746
Trinexapac-ethyl	0,712 b	0,739	0,754	0,729
Dms	0,0435	0,0406	0,0367	0,0415
SUBDOSES (%)				
0	0,754	0,775 a	0,851	0,802 a
3	0,759	0,763 a	0,724	0,717 b
6	0,741	0,722 ab	0,735	0,724 ab
9	0,707	0,737 ab	0,746	0,715 b
12	0,711	0,678 b	0,743	0,755 ab
Dms	0,0657	0,0613	0,0555	0,0782
F(Maturadores)	5,39**	0,59 ns	0,54 ns	0,70 ns
F(Subdoses)	2,09 ns	6,10**	18,81 ns	3,52 ns
F(MxS)	1,32 ns	0,61 ns	1,78 ns	0,87 ns
Blocos	1,14 ns	0,21 ns	3,59*	0,60 ns
CV (%)	8,68	8,10	7,08	10,22

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, **significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo

4.1.4. Número de folhas, massa fresca e massa seca

Os valores médios para número de folhas, massa fresca (g) e massa seca (g) por planta, coletados aos 20 DAA, estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Número de folhas, massa fresca (g) e massa seca (g) por planta da alface cultivar 'Lucy Brown' avaliados aos 5, 10, 15 e 20 dias após a aplicação (DAA) de subdoses dos maturadores. Jaboticabal, SP, 2018.

	Número de folhas	Massa fresca (g)	Massa seca (g)
MATURADORES			
Glyphosate	17,64	227,22 a	10,43 a
Sulfometuron methyl	17,48	188,41 c	9,07 b
Trinexapac-ethyl	17,84	208,28 b	10,89 a
Dms	1,9285	16,1275	1,0428
SUBDOSES (%)			
0	20,40 a	244,73 a	13,54 a
3	18,00 ab	223,15 ab	10,67 b
6	16,53 b	209,69 bc	9,30 bc
9	17,06 b	192,72 cd	9,26 bc
12	16,26 b	169,56 d	7,87 c
Dms	2,9148	24,3755	1,5762
F(Maturadores)	0,10 ns	16,78**	9,49 **
F(Subdoses)	5,23**	2,01**	29,48**
F(MxS)	1,70 ns	3,48**	2,19*
Blocos	1,11 ns	4,22**	1,75 ns
CV (%)	16,04	11,38	15,11

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, **significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo

Para número de folhas não houve interação entre maturadores e subdoses. Desta forma, o número de folhas contabilizadas aos 20 DAA não diferiu entre os maturadores utilizados.

Para massa fresca, ficou evidenciado a diferença entre maturadores e subdoses. Todos os produtos testados reduziram a massa fresca da alface coletada aos 20 DAA (Figura 4).

Avaliando-se a interação maturador versus subdoses, os efeitos das subdoses ajustaram-se ao modelo de regressão linear, conforme pode ser avaliado na Figura 4. Ao estimar os decréscimos, foi possível observar que para cada 1% de subdose, ocorreu uma diminuição em 2,92 gramas para o glyphosate; 7,70 gramas para o trinexapac-ethyl

e 7,37 gramas para o sulfometuron methyl. Aos 12% da dose, as reduções culminaram em até 15% e 39% para glyphosate e sulfometuron methyl/trinexapac-ethyl, respectivamente, comparados à subdose correspondente à testemunha (subdose 0).

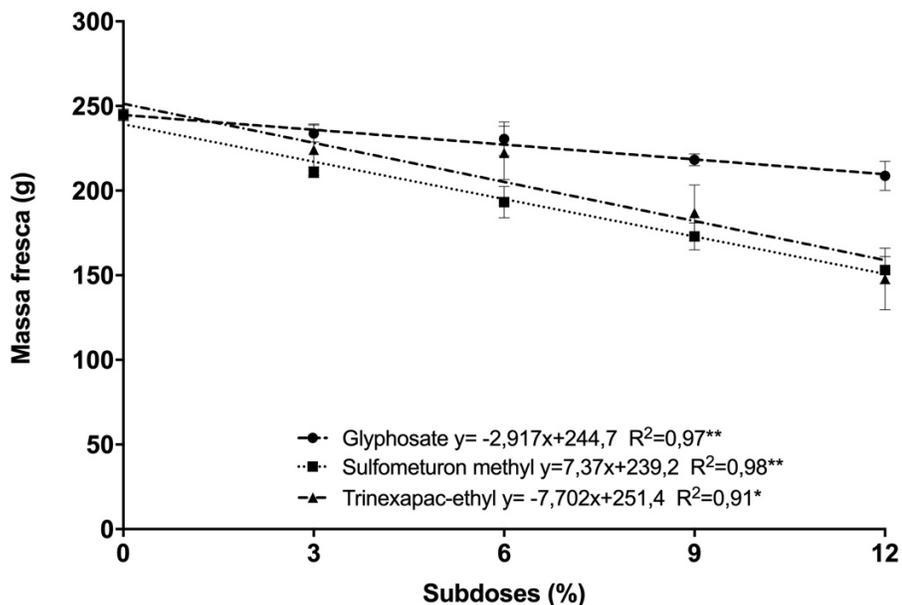


Figura 4. Massa fresca de alface 'Lucy Brown' em função das subdoses dos maturadores, sendo *significativo a 5% e **significativo a 1% pelo teste F.

Para a massa seca, também foi observada interação significativa para os fatores testados. Na interação maturadores versus subdoses e estimando-se as perdas observadas em massa seca, constatou-se que a cada 1% de subdose, há uma diminuição de 0,44 gramas e 0,63 gramas na massa seca com o uso do glyphosate e do sulfometuron methyl, respectivamente, tendo estes ajustados ao modelo de regressão linear. Entretanto, o trinexapac-ethyl, se ajustou ao modelo quadrático e a maior redução observada foi a subdose partir de 8%, equivalente a 16 g. i a. ha⁻¹, que corresponde a uma diminuição de até 29,5% na massa (Figura 5). Aos 12% da dose, as reduções na massa seca chegaram a aproximadamente 41% para glyphosate e sulfometuron methyl, e 58,5% para trinexapac-ethyl, quando comparadas a testemunha (subdose 0).

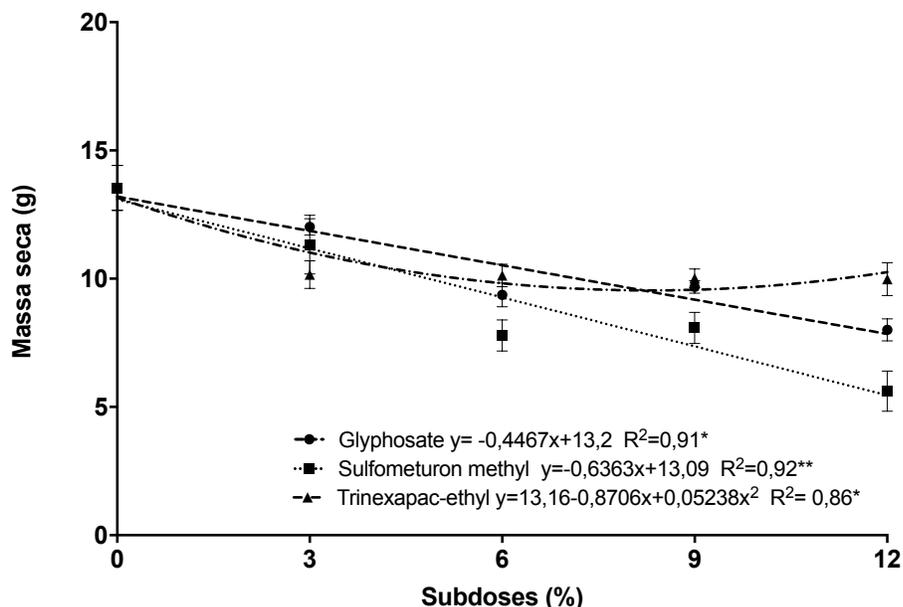


Figura 5. Massa seca de alface 'Lucy Brown' em função das subdoses dos maturadores, sendo *significativo a 5% e **significativo a 1% pelo teste F.

As reduções do conteúdo de clorofila observadas podem explicar as reduções constatadas para massa fresca e seca. Apesar da eficiência quântica do fotossistema II não ter sido aparentemente afetada, a diminuição no teor de clorofila impactou negativamente na cultura e interferiu no seu desenvolvimento.

Em relação ao grau de associação entre as variáveis investigadas (Tabela 7), verificou-se correlação elevada e positiva entre número de folhas, massa fresca e massa seca com as variáveis teor de clorofila e Fv/Fm (eficiência quântica do fotossistema II) aos 20 DAA. Em contrapartida, para as notas visuais atribuídas nesta mesma avaliação uma correlação negativa foi observada, indicando que com o aumento das notas, houve redução no número de folhas, na massa fresca e massa seca.

Tabela 7. Coeficientes de correlação linear simples entre as variáveis analisadas para a cultivar ‘Lucy Brown’. Jaboticabal, SP, 2018.

		Número de folhas	Massa fresca	Massa seca
5 DAA	Nota visual	0,0823 ns	0,0547 ns	-0,0642 ns
	Teor de clorofila	-0,0151 ns	0,0678 ns	0,1421 ns
	Fv/Fm	0,0197 ns	0,0266 ns	0,0506 ns
10 DAA	Nota visual	-0,2474 ns	-0,2057 ns	-0,1534 ns
	Teor de clorofila	0,0347 ns	-0,0008 ns	0,0183 ns
	Fv/Fm	-0,0314 ns	0,0754 ns	-0,0037 ns
15 DAA	Nota visual	-0,25892*	-0,2391 ns	-0,2121 ns
	Teor de clorofila	0,1619 ns	0,1751 ns	0,1003 ns
	Fv/Fm	0,2324 ns	0,1487 ns	0,1640 ns
20 DAA	Nota visual	-0,7077 **	-0,6840**	-0,6584**
	Teor de clorofila	0,7524**	0,7179**	0,6644**
	Fv/Fm	0,7749**	0,7389**	0,7453**

** Coeficientes significativos a 1% de probabilidade; * Coeficientes significativos a 5% de probabilidade; e ns Coeficientes não-significativos.

4.2. Experimento 2: cultivar ‘Vanda’

4.2.1. Avaliação visual

Na avaliação visual de fitointoxicação foi possível observar diferença estatística para efeito dos maturadores, subdoses e a interação entre os fatores em todos os dias avaliados, como pode ser observado na Tabela 7.

Tabela 8. Valores médios das notas de intoxicação de plantas de alface cultivar ‘Vanda’ atribuídas aos 5, 10, 15 e 20 dias após a aplicação (DAA) de subdoses dos maturadores, com base na escala ERWC (1964). Jaboticabal/SP.

	5 DAA	10 DAA	15 DAA	20 DAA
MATURADORES				
Glyphosate	1,00 b	1,00 c	1,60 c	1,08 c
Sulfometuron methyl	1,12 a	3,60 a	3,84 a	3,76 a
Trinexapac-ethyl	1,00 b	2,80 b	2,68 b	2,84 b
Dms	0,0963	0,2916	0,4299	0,6157
SUBDOSES (%)				
0	1,00 b	1,00 d	1,00 d	1,00 c
3	1,00 b	1,93 c	2,06 c	2,06 b
6	1,00 b	2,66 b	3,26 b	2,86 ab
9	1,00 b	3,20 a	3,26 b	3,26 a
12	1,20 a	3,53 a	3,93 a	3,60 a
Dms	0,1456	0,4407	0,6498	0,9306
F(Maturadores)	6,00**	241,82**	78,71**	56,70**
F(Subdoses)	6,00**	84,91**	51,32**	19,96**
F(MxS)	6,00**	25,18**	7,84**	6,86**
Blocos	1,00 ns	0,73 ns	1,05 ns	0,55 ns
CV (%)	13,59	17,35	23,32	35,32

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, **significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo

Desdobrando a interação maturadores e subdoses, foi possível constatar que já aos 5 DAA, dentre os maturadores utilizados, o sulfometuron methyl proporcionou primeiros sintomas de injúria com a subdose de 12%, enquanto para glyphosate e trinexapac ethyl ainda não foi possível detectá-los nesta primeira avaliação.

Nas avaliações subsequentes, aos 10, 15 e 20 DAA, todas as subdoses testadas para o sulfometuron methyl e o trinexapac ethyl resultaram em algum grau de injúria, sendo crescente a medida que se aumentou a subdose testada. No entanto, para o glyphosate aos 15 DAA, foi possível verificar injúrias em decorrência da ação do produto, sendo que tais injúrias não foram observadas na avaliação subsequente, podendo ter ocorrido metabolização do produto, de forma a não serem visíveis sintomas de injúria.

Na última avaliação, apenas com a subdose referente a 12% foi possível observar visualmente algum dano, conforme consta da Figura 6.

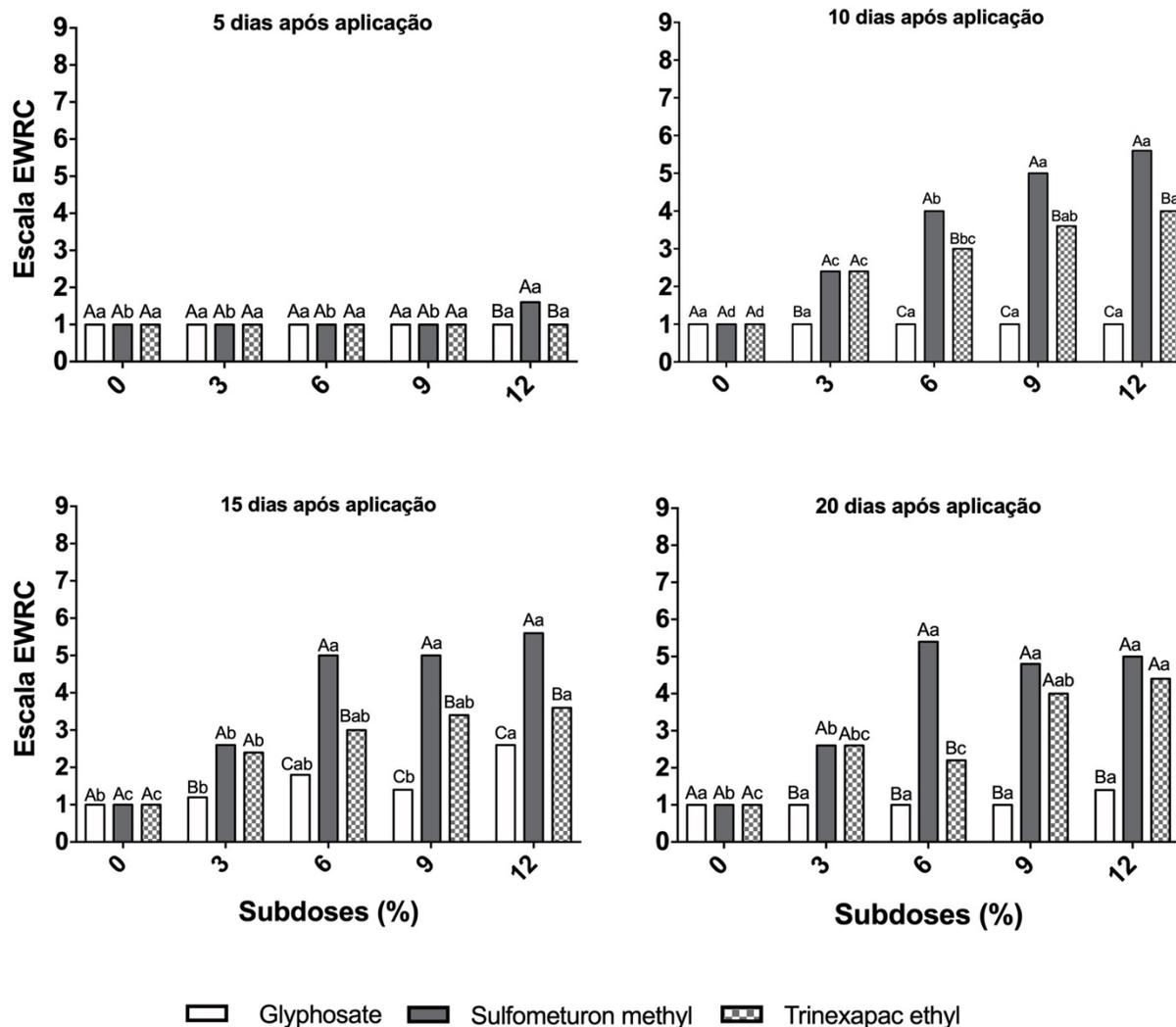


Figura 6. Valores médios de notas visuais de fitointoxicação da alfaca 'Vanda' atribuídas aos 5, 10, 15 e 20 dias após a aplicação de subdoses dos produtos Jaboticabal, SP, 2018. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que letras minúsculas comparam as subdoses dentro de cada produto e maiúsculas comparam produtos dentro das subdoses.

De acordo com Oliveira (2011), sintomas decorrentes da aplicação de glyphosate são aparentes geralmente a partir do terceiro dia, podendo ser observado amarelecimento na folhagem, morte lenta e nanismo. Para a cultivar 'Vanda', os sintomas

se limitaram ao leve amarelecimento de folhas jovens. Nas avaliações subsequentes, os efeitos das subdoses praticamente não foram observados (Figura 6).

Para os inibidores da ALS, os sintomas não são visíveis nos primeiros dias após aplicação. Sintomas comumente observados quando da aplicação da dose recomendada, incluem bandas cloróticas em gramíneas, clorose internerval e paralização do crescimento da parte aérea (Marchi et al., 2008). Oliveira Júnior (2011) explica que herbicidas derivados das sulfoniluréias apresentam alto nível de atividade em doses muito pequenas. No período avaliado, foi o produto que proporcionou as maiores médias de nota de fitointoxicação. Leve alteração nas plantas foi constatada aos 5 DAA com a subdose de 12%, porém aos 10 DAA, já na menor subdose, de 3%, foram constatados os primeiros sintomas de intoxicação, que consistiram da emissão de folhas menores, com superfície mais lisa e de coloração amarelada (anexo).

O trinexapac ethyl, sendo um inibidor de giberelinas ativas, não causou danos severos visuais nas folhas, mas para a cultivar 'Vanda', pertencente o grupo das alfaces crespas, notou-se crescimento do caule, podendo levar ao pendoamento precoce desta. Este sintoma foi mais evidente aos 20 DAA (anexo). O pendoamento precoce é recorrente em cultivares plantadas em regiões com temperaturas mais elevadas, sendo uma característica indesejável já que inviabiliza sua comercialização (Luz et al., 2009). No entanto, considerando que as temperaturas observadas ao longo deste experimento ficaram, em média a 24°C e por ter sido conduzido sob telado, considera-se que provavelmente o efeito observado seja decorrente da aplicação do trinexapac ethyl.

4.2.2. Teor total de clorofilas

Na avaliação do teor de clorofila total, não foram detectadas diferenças estatísticas na interação maturadores e subdoses aos 5 e 10 DAA, sendo apenas observada diferenças entre subdoses testadas. Já aos 15 e 20 DAA a interação foi estatisticamente significativa, como pode ser observado na Tabela 8.

Tabela 9. Valores médios dos teores de clorofila total em folhas de alface cultivar ‘Vanda’ avaliados aos 5, 10, 15 e 20 dias após a aplicação (DAA) de subdoses dos maturadores. Jaboticabal, SP, 2018.

	5 DAA	10 DAA	15 DAA	20 DAA
MATURADORES				
Glyphosate	17,56	19,87	18,06 b	17,95
Sulfometuron methyl	16,86	18,78	18,25 ab	18,85
Trinexapac-ethyl	17,43	19,82	19,37 a	18,42
Dms	1,3518	1,5914	1,2181	1,4535
SUBDOSES (%)				
0	21,62 a	27,66 a	23,61 a	25,87 a
3	15,93 b	16,95 b	16,94 b	15,98 b
6	17,03 b	18,39 b	16,98 b	17,17 b
9	156,35 b	16,72 b	17,65 b	16,65 b
12	15,50 b	17,74 b	17,61 b	16,35 b
Dms	2,0431	2,4053	1,8411	2,1969
F(Maturadores)	0,89 ns	1,74 ns	3,96*	1,10 ns
F(Subdoses)	23,53**	58,50**	37,89**	57,91**
F(MxS)	1,48 ns	0,72 ns	4,50**	2,83*
Blocos	0,49 ns	2,29 ns	2,19 ns	1,03 ns
CV (%)	11,48	11,98	9,63	11,59

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, **significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo.

Na análise de regressão, apresentada na Figura 7, verifica-se que os efeitos das subdoses ajustaram-se ao modelo de regressão quadrática para o glyphosate, sulfometuron methyl e trinexapac ethyl aos 15 DAA e 20 DAA.

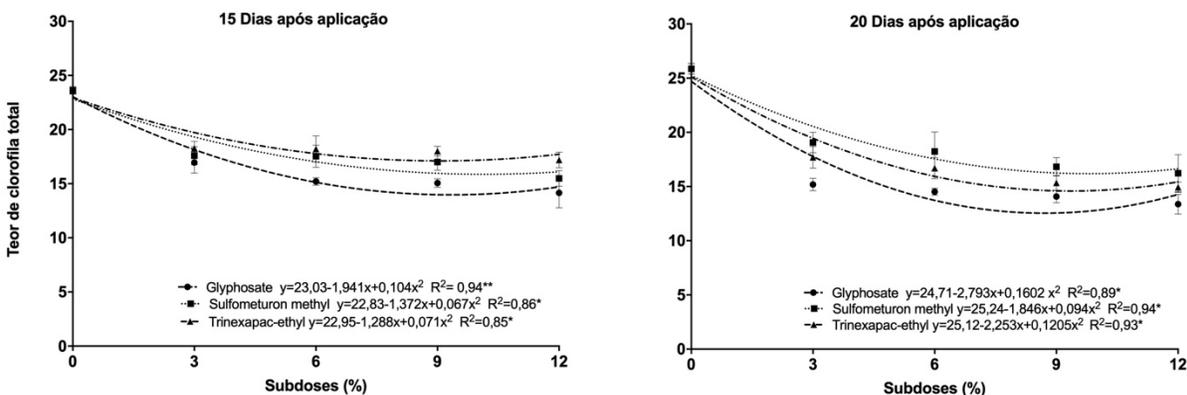


Figura 7. Teor de clorofila total em folhas de alface 'Vanda' aos 15 DAA em função das subdoses dos maturadores, sendo *significativo a 5% e **significativo a 1% pelo teste F.

Aos 15 DAA, foi possível observar que para o glyphosate, a subdose estimada de 9% foi responsável por reduzir em até 30% os teores de clorofila quando comparada à testemunha. Para o sulfometuron methyl a subdose estimada de 10% resultou na diminuição em aproximadamente 33% e, por fim, o trinexapac ethyl, proporcionou na subdose de 9% a maior redução, sendo esta de aproximadamente 27,5%.

Aos 20 DAA constatou-se que houve reduções nos teores de clorofila superiores à aquelas constatadas na avaliação de 15 DAA. O glyphosate, na subdose estimada de 8%, reduziu em aproximadamente 51% a clorofila presente, sendo a maior diminuição observada. O sulfometuron, na subdose estimada de 10%, reduziu em até 37,5% e o trinexapac ethyl, na subdose de 9%, em até 46% os teores de clorofila. De modo geral, apesar dos produtos não possuírem mecanismo de ação que atuem diretamente nos cloroplastos, alterando o teor de clorofilas, estas foram indiretamente afetadas pelo modo de ação dos produtos. Além disso, percebe-se que mesmo passados alguns dias após aplicação dos produtos, os mesmos permanecem metabolicamente ativos e houve progressivo aumento da redução dos teores de clorofila observados nas avaliações.

As clorofilas têm papel importante sobre a quantidade de radiação solar que é absorvida pelas plantas e por isso, sua concentração foliar tem relação direta com as taxas fotossintéticas, de acordo com Streit et al. (2015). A eficiência fotossintética por estar associada aos teores de clorofila presentes, exerce efeito sobre o crescimento e

desenvolvimento das plantas. Desta forma, o teor de clorofila nas folhas é um indicador do nível de dano que estresses podem causar ao vegetal (Catunda et al., 2005).

4.2.3. Eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm)

Na avaliação da eficiência quântica do fotossistema II, a análise de variância apresentou significância para os fatores maturadores e subdoses em todas avaliações efetuadas, sendo a interação entre estes significativa na avaliação de 5 DAA e 10 DAA, (Tabela 9).

Tabela 10. Valores médios da razão de fluorescência da clorofila a (Fv/Fm) medida em folhas de alface cultivar 'Vanda' avaliados aos 5, 10, 15 e 20 dias após a aplicação (DAA) de subdoses dos maturadores. Jaboticabal, SP, 2018

	5 DAA	10 DAA	15 DAA	20 DAA
MATURADORES				
Glyphosate	0,758 a	0,731 a	0,801 a	0,802 a
Sulfometuron methyl	0,688 b	0,677 b	0,764 b	0,753 b
Trinexapac-ethyl	0,715 b	0,628 c	0,783 a	0,775 ab
Dms	0,0367	0,0470	0,0348	0,0273
SUBDOSES (%)				
0	0,783 a	0,734 a	0,820 a	0,805 a
3	0,755 ab	0,663 ab	0,783 ab	0,775 ab
6	0,726 bc	0,689 ab	0,772 ab	0,783 ab
9	0,674 cd	0,684 ab	0,755 b	0,771 ab
12	0,665 d	0,624 b	0,754 b	0,751 b
Dms	0,0555	0,0710	0,0527	0,0412
F(Maturadores)	10,60**	13,79**	7,47**	9,36**
F(Subdoses)	13,40**	5,05**	4,20**	4,19**
F(MxS)	2,28*	3,20**	1,09 ns	1,40 ns
Blocos	1,21 ns	5,89**	1,64 ns	1,84 ns
CV (%)	7,47	10,16	6,58	5,15

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, **significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo

A fluorescência da clorofila **a** é uma importante medida da eficiência fotossintética e a produtividade da planta, o que, segundo Campostrini (2001), pode ser usada para um estudo de aspectos fotossintéticos, como as alterações na organização da membrana dos tilacóides. O valor de referência para o parâmetro Fv/Fm, encontrado para boa parte de plantas vasculares e quando esta está com seu aparelho fotossintético intacto, é de $0,832 \pm 0,004$, de acordo com Björkman e Demmig (1987). Porém, alguns autores consideram como aceitável a faixa entre 0,75 e 0,85 (Maxwell e Johnson, 2000; Wagner e Merotto Junior, 2014).

Avaliando a interação dos fatores, por meio da análise de regressão (Figura 8) observou-se que para as avaliações aos 5 e 10 DAA houve ajuste para o modelo linear para os efeitos dos três maturadores testados.

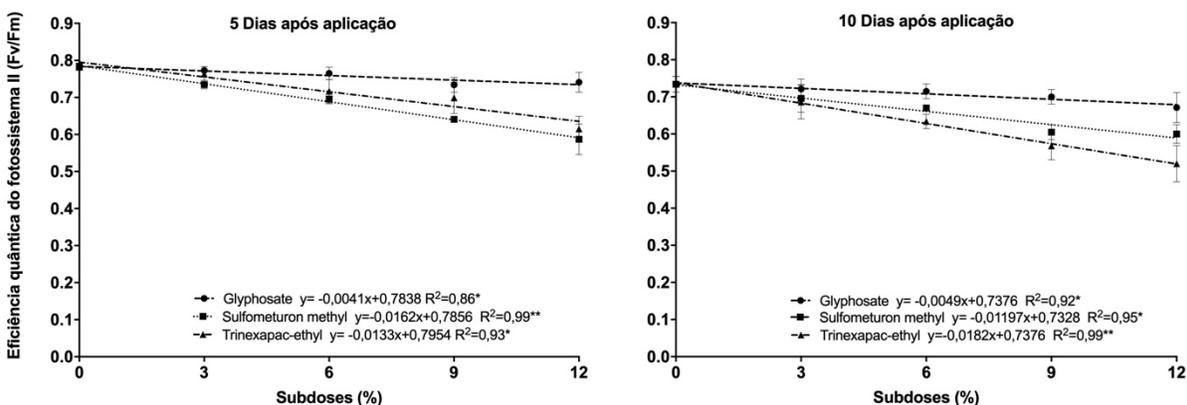


Figura 8. Fluorescência da clorofila **a** medida em folhas de alface ‘Vanda’ aos 5 DAA e 10 DAA em função das subdoses dos maturadores, sendo *significativo a 5% e **significativo a 1% pelo teste F.

Aos 5 DAA, quando comparadas à testemunha e aos 12% da dose dos produtos, o glyphosate foi o que propiciou menor redução nas leituras de Fv/Fm, com um decréscimo de aproximadamente 5%. Na avaliação de 10 DAA, observou-se redução superior, de 8% para a subdose correspondente a 12%. O valor medido está abaixo do considerado normal, sendo este de 0,671. Silva et al. (2016), trabalhando com deriva simulada de glyphosate em pequi, constataram que as 240 horas após aplicação, nas

doses acima de 500 g. e. a. ha⁻¹, foi constatada uma redução de 15% da eficiência do fotossistema II, quando comparadas ao controle. Já Carvalho et al. (2016), testando diferentes doses de glyphosate em clones de eucalipto, não encontraram alterações referentes a eficiência quântica do fotossistema II. De forma geral, é possível encontrar resultados diversos quanto a famílias botânicas/espécies, concentração do produto e estágio de aplicação (Huang et al. 2012). Pode-se inferir que para a alface, mesmo em pequenas doses de glyphosate, existe um dano potencial que aumenta quanto maior for a exposição dessas plantas às doses crescentes do produto.

Para o sulfometuron methyl, aos 5 DAA na subdose referente a 12 % da dose recomendada, houve uma redução de 25% na Fv/Fm, sendo esta de 0,587. Já aos 10 DAA a redução foi menor, com 18% e leitura de 0,680. Considerando todas as subdoses testadas, uma evidência de dano provocado ao rendimento quântico do fotossistema II pode ser observada a partir da subdose de 6% aos 5 DAA e 3% aos 10 DAA, com leituras de 0,696 e 0,670, respectivamente, indicando que o produto permaneceu ativo, mesmo com a diferença de 5 dias entre as avaliações. Avaliando o grupo das sulfonilúreias, no qual se insere o sulfometuron methyl, Durigon et al. (2017) encontraram valores médios de fluorescência da clorofila a inferiores a 0,690 para os herbicidas nicosulfuron, clorimuron etílico, metsulfuron metílico e iodosulfuron-metílico-sódico na cultura da canola, utilizando da dose comercial recomendada e o dobro desta.

As enzimas EPSP e ALS, apesar de não estarem diretamente relacionadas com a fotossíntese, são enzimas importantes nas reações de formação de diversos aminoácidos essenciais para as plantas. A interferência na síntese destes aminoácidos altera a síntese proteica. Além disso, o consumo do ATP e NADPH, formados na etapa fotoquímica, está ligado a reações em que a redução do CO₂ a carboidratos é catalisada por diversas enzimas que se encontram no estroma (Taiz; Zeiger, 2017). Assim, a interrupção na síntese proteica pode afetar o processo fotossintético, inclusive na etapa fotoquímica, que depende da sequência de eventos de produção e consumo de metabólitos para continuar ocorrendo.

O trinexapac ethyl, na maior subdose testada, causou redução de 21% quando comparada a testemunha aos 5 DAA. Aos 10 DAA, esta redução foi ainda maior (29%). Assim como o sulfometuron methyl, as consequências da aplicação das subdoses

aumentaram, comparando-se as avaliações de 5 DAA e 10 DAA. Na primeira, a subdose de 9% apresentou valor que pode ser considerado indício de estresse, 0,619. Já aos 10 DAA, este foi de 0,628 para a subdose de 3%. Sendo um inibidor da síntese de giberelinas, não há ainda evidência de o trinexapac ethyl possa ocasionar algum dano indireto ao sistema fotossintético de plantas. Vital (2015), testando o efeito de subdoses de trinexapac ethyl em girassol, não encontrou evidências de que o produto altere Fv/Fm e são escassos os trabalhos que fazem menção a possíveis danos ao fotossistema II relacionados ao trinexapac ethyl. No entanto, por ser tratar de uma cultura sensível como a alface, algum dano, a princípio, poderia ocorrer.

4.2.4. Número de folhas, massa fresca e massa seca

Para número de folhas, massa seca e fresca, constatou-se que a interação maturadores e subdoses foi significativa apenas para a massa seca, conforme pode ser observado na Tabela 10.

Pela análise de regressão, os efeitos dos maturadores glyphosate e sulfometuron methyl sobre a massa seca das plantas de alface ajustaram-se ao modelo quadrático e o trinexapac ethyl, ao modelo linear (Figura 9).

Tabela 11. Número de folhas, massa fresca (g) e massa seca (g) por planta de alface cultivar 'Vanda' avaliados aos 5, 10, 15 e 20 dias após a aplicação (DAA) de subdoses dos maturadores. Jaboticabal, SP, 2018.

	Número de folhas	Massa fresca (g)	Massa seca (g)
MATURADORES			
Glyphosate	26,80 b	173,74	17,97
Sulfometuron methyl	29,20 ab	187,90	15,73
Trinexapac-ethyl	32,48 a	189,10	16,43
Dms	3,2820	19,3929	1,5562
SUBDOSES (%)			
0	30,00	241,74 a	22,12
3	29, 26	188,21 b	16,53
6	29,73	189,88 b	16,63

9	29,80	154,20 c	14,26
12	28,66	143,85 c	14,02
Dms	4,9605	29,3109	2,3521
F(Maturadores)	8,75**	2,25 ns	6,27**
F(Subdoses)	0,18 ns	27,21**	30,52**
F(MxS)	1,23 ns	1,87 ns	2,28*
Blocos	1,73 ns	0,72 ns	1,38 ns
CV (%)	16,34	15,51	13,67

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, **significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo.

O glyphosate, na subdose estimada de 8,9% (Figura 9) propiciou a maior redução observada, com um decréscimo de até 29% da massa seca por planta. Para o sulfometuron esta redução foi ainda maior, de 41% na subdose estimada de 9,8%. O trinexapac ethyl causou maior redução aos 12 % da subdose, com um decréscimo de 48% da massa seca. O estresse gerado pelo modo de ação dos produtos, com conseqüente sintomas de fitotoxicidez, redução nos teores de clorofila, possível dano ao fotossistema II afetou o desenvolvimento das plantas de alface, sendo perceptíveis quando mensurados a massa seca após 20 dias de aplicação dos produtos.

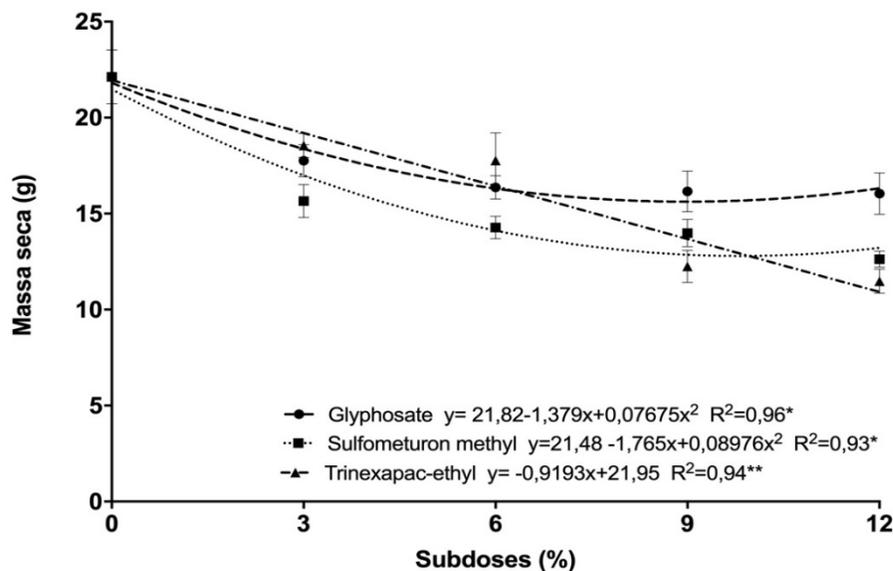


Figura 9. Massa seca de alface 'Vanda' em função das subdoses dos maturadores, sendo *significativo a 5% e **significativo a 1% pelo teste F.

Para avaliar o grau de associação entre as variáveis investigadas (Tabela 12), pode-se perceber que apenas o fator nota visual nas avaliações de 10, 15 e 20 DAA apresentaram algum grau de correlação com a variável número de folhas. Para as demais, a correlação foi não significativa.

Tabela 12. Coeficientes de correlação linear simples entre variáveis analisadas para a cultivar 'Vanda'. Jaboticabal, SP, 2018.

		Número de folhas	Massa fresca	Massa seca
5 DAA	Nota visual	-0,0845 ns	-0,2227 ns	-0,1177 ns
	Teor de clorofila	-0,0103 ns	0,1024 ns	0,0864 ns
	Fv/Fm	-0,1679 ns	0,1286 ns	0,1849 ns
10 DAA	Nota visual	0,2634*	-0,1272 ns	-0,2194 ns
	Teor de clorofila	-0,1071 ns	0,1446 ns	0,1270 ns
	Fv/Fm	-0,1457 ns	0,0957 ns	0,1481 ns
15 DAA	Nota visual	0,3159*	-0,0557 ns	-0,1298 ns
	Teor de clorofila	0,2263 ns	0,01422 ns	-0,0866 ns
	Fv/Fm	-0,2284 ns	0,07169 ns	0,0863 ns
20 DAA	Nota visual	0,2858*	-0,0803 ns	-0,2007 ns
	Teor de clorofila	0,1360 ns	0,0890 ns	0,0252 ns
	Fv/Fm	-0,1314 ns	-0,0949 ns	-0,1397 ns

** Coeficientes significativos a 1% de probabilidade; * Coeficientes significativos a 5% de probabilidade; e ns Coeficientes não-significativos.

4.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As alterações observadas nas cultivares testadas, em decorrência da aplicação dos maturadores, podem estar relacionadas à forma de absorção e características químicas intrínsecas de cada produto químico, além das próprias características da cultivar em si. Desta forma, verificou-se que para a cultivar 'Lucy Brown' todos os produtos testados resultaram em danos, sendo que não houve recuperação das plantas,

afetando seu aspecto visual. Para a variável clorofila, as reduções significativas foram observadas apenas 15 DAA, para todos maturadores. A redução no teor de clorofila não afetou a eficiência quântica do fotossistema II. Por fim, não foram observadas diferenças para a variável número de folhas, mas a massa fresca e a massa seca foram afetadas negativamente pelos maturadores.

Para a cultivar 'Vanda', os produtos sulfometuron methyl e trinexapac ethyl causaram injúrias visuais em todas avaliações, sem posterior recuperação visível. Para o glyphosate, os sintomas foram mais leves, com posterior recuperação das plantas. As reduções nos teores de clorofila (15 e 20 DAA) foram posteriores ao que foi observado para a eficiência quântica do fotossistema II (5 DAA e 10 DAA), indicando que possivelmente os produtos se mantiveram ativos e resultando em danos na fisiologia das plantas. Já para número de folhas e massa fresca, não houve diferença entre produtos e subdoses e dias avaliados, sendo apenas possível observar que para massa fresca houve redução.

Desta forma, é possível concluir que já a partir de 3% da dose recomendada para maturação da cana-de-açúcar, o trinexapac-ethyl e sulfometuron methyl podem acarretar em grandes prejuízos à cultura da alface 'Lucy Brown' e 'Vanda', quando aplicados no início da formação da cabeça e no estágio de 6 a 7 folhas, respectivamente, enquanto o glyphosate até a dose de 12% da recomendada não causou danos irreversíveis à cultura. Baseado nos sintomas apresentados pelas plantas, na prática, o produtor terá mais dificuldades em identificar sintomas de glyphosate em subdoses, visto que para a cultivar 'Vanda' houve recuperação das plantas. Sintomas de subdoses de sulfometuron methyl e trinexapac ethyl já foram danosos para ambas e pelo descrito neste trabalho, torna-se mais fácil identificar caso haja suspeita de deriva destes produtos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida JCV et al. Eficiência agronômica de sulfometuron metil como maturador na cultura da cana-de-açúcar. **STAB**, v.21, p.36-37, 2003.

Bezerra Neto F et al. (2005) Sombreamento para produção de mudas de alface em alta temperatura e ampla luminosidade. **Horticultura Brasileira** 23: 133-137.

Bjorkman O, Demming B (1987) Photon yield of evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. **Planta** 170:489-504.

Camargo Filho WP, Camargo FP (2019) **PIB da produção de hortaliças no Estado de São Paulo, 2017**. Revista Attalea Agronegócios. Disponível em: <https://revistadeagronegocios.com.br/iea-instituto-de-economia-agricola-pib-da-producao-de-hortalicas-no-estado-de-sao-paulo-2017/> Acessado em: 22 jun. 2019.

Campostrini E (2001) Fluorescência da clorofila a, considerações teóricas e aplicações práticas. Disponível em:

http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/CENTRO_CCTA_1629_1112121492.pdf

Acessado em: 22 de junho de 2019.

Caputo MM. et al. O uso de maturadores químicos na cana-de-açúcar. *Pesquisa & Tecnologia*, v. 2, n.2, 2005.

Caputo MM et al. (2007) Acúmulo de sacarose, produtividade e florescimento de cana-de-açúcar sob reguladores vegetais. **Interciencia** 32: 834-840.

Carvalho LB et al. (2016) Content and fluorescence of chlorophyll in eucalypt exposed to glyphosate. **Communications in Plant Sciences** 6: 07-11.

Castro PRC. Utilização de reguladores vegetais no sistema de produção da cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE FISILOGIA DA CANA-DE-AÇÚCAR, 2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: STAB, 2000. 10p.

Catunda MG et al. (2005) Efeitos de herbicidas na atividade fotossintética e no crescimento de abacaxi (*Ananas comosus*). **Planta Daninha** 23:115-121.

CEAGESP - Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo. Guia CEAGESP: Alface. (2017). Disponível em: <http://www.ceagesp.gov.br/guia-ceagesp/alface-americana/>. Acessado em: 23 Janeiro 2019.

Constantin J et al. (2007) Efeito de subdoses de 2,4-D na produtividade de fumo e suscetibilidade da cultura de algodão em função de seu estágio de desenvolvimento. **Engenharia Agrícola** 27:30-34.

Christofoletti JC. Considerações sobre tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas. São Paulo: Teejet South America, 1999. 14 p. (Boletim técnico, 5)

Duarte RLR et al. (1992) Avaliação de cultivares de alface nos períodos chuvosos e secos em Teresina-PI. **Horticultura Brasileira** 10:106-108.

Durigon MR et al. (2017) Fitotoxicidade de herbicidas inibidores da enzima acetolactato sintase em canola Clearfield. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CANOLA, 1., 2017, Passo Fundo. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa.

Ervin EH and Koski AJ (2001) Trinexapac-ethyl increases kentucky bluegrass leaf cell density and chlorophyll concentration. **Hortscience** 36:787–789.

FAEMG -Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de Minas Gerais. Alface é a folhosa mais consumida no Brasil. 2015. Disponível em: <http://www.faemg.org.br/Noticia.aspx?Code=8021&Portal=1&PortalNews=1&ParentCode=139&ParentPath=None&ContentVersion=R&show=all>. Acesso em: 18 maio 2019.

Fagliari JR et al. (2005) Impact of sublethal doses of 2,4-D simulating drift, on tomato yield. **Journal of Environmental Science and Health** 40:201-206.

Fan G et al. (2009) Growth responses of Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.) to trinexapac-ethyl applied in spring and autumn. **Frontiers of Agriculture in China** 3:186-189.

Felisberto PAC. Efeito de subdoses de maturadores de cana-de-açúcar na cultura do milho. 2015. 101 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2015.

Filgueira FAR. **Novo Manual de Olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: Editora UFV, 2000. 402.

França AC et al.) Crescimento de cultivares de café arábica submetidos a doses do glyphosate. **Planta Daninha** 28:599-607, 2010.

Gascho GJ, Shih SF. Sugar cane. In: Teare I.D. and Peet M.M. (Eds.). **Crop-water relations**. 1. ed. New York: Wiley-Interscience, p.445-479, 1983.

Gaspar N et al. (2017) Efeitos fitotóxicos sobre a cultura do alface ocasionados pela deriva simulada de herbicidas utilizados no milho. **Revista Ensaios Pioneiros** 1.

Gandolfo MA et al. (2013) Influência de pontas de pulverização e adjuvantes na deriva em caldas com glyphosate. **Revista Ciência Agronômica** 44:474-480.

Gavassi MA et al (2018) Sugarcane's chemical ripeners: effects on growth and gas exchange of *Citharexylum myrianthum*, a Brazilian native tree species. **Australian Journal of Crop Science** 12:281-288.

Gomes MP et al. (2016) Differential effects of glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA) on photosynthesis and chlorophyll metabolism in willow plants. **Pesticide Biochemistry and Physiology** 130:65-70.

Han LB et al. (2008) Preliminary observation of physiological responses of three turfgrass species to traffic stress. **Hort-Technology** 18:139–143.

Henz GP; Suinaga F. (2009) **Tipos de Alface Cultivados no Brasil**. Comunicado técnico 75. SSN 1414-9850.

Huang J et al. (2012) Effects of glyphosate on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and physicochemical properties of cogongrass (*Imperata cylindrical* L.). **Plant Omics** 5, 177–183.

IEA/CATI ANUÁRIOS (2017), Banco de Dados – www.iea.agricultura.sp.gov.br.

Judy BM et al. (1990) The chlorophyll fluorescence assay as a rapid indicator of herbicide toxicity. In: Society SWS (ed) 43rd Annual Meeting of the Southern Weed Science Society. Melbourne.

Leite GH et al. (2011) Desenvolvimento e produtividade da cana-de- açúcar após aplicação de reguladores vegetais em meio de safra. **Semina: Ciências Agrárias** 32:129-138.

Luz AO et al. (2009) Resistência ao pendoamento de genótipos de alface em ambientes de cultivo. **Agrarian** 2:71-82.

Marchi G, Marchi EC, Guimarães TG (2008) **Herbicidas: mecanismo de ação e uso**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 36 p.

Matuo T. Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas. Jaboticabal: Funep, 1990. 139 p.

Maxwell K, Johnson GN. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. **J Exp Bot** 51, 659-668, 2000.

Miller PCH (1993) **Spray drift and its measurement**. In: MATTHEWS, G.A.; HISLOP, E.C. Application technology for crop protection. Oxon: CAB International. p. 101-122.

Mota JH et al. (2003) Avaliação de cultivares de alface americana durante o verão em Santana da Vargem, MG. **Horticultura Brasileira** 21:234-237.

Moro MS, Yamauti MS, Nepomuceno MP, Alves PLCA (2012) Deriva simulada de herbicidas utilizados em cana-de-açúcar em alface. In: XXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS DANINHAS. Campo Grande. **Anais...**Viçosa: SBPCPD, p. 245-250.

Oliveira Jr RS (2011) **Mecanismo de ação de herbicidas**. IN: Biologia e Manejo de Plantas Daninhas/editores: Oliveira Júnior RB, Constantin J e Hiroko I. Curitiba:Omnipax, 348p.

Oliveira ACB et al. (2004) Divergência genética e descarte de variáveis em alface cultivada sob sistema hidropônico. **Acta Scientiarum, Agronomy** 26, 2:211-217,

Peterson CA, Wildt, PPO, Edgington CV (1978) A rationale for the ambimobile translocation of the nematicide oxyamyl in plants. **Pesticide Biochemistry and Physiology** 8:1-9.

Resende FV et al. (2000) Moddus, a plant growth regulator and management tool for sugarcane production in Brazil. *Sugar Cane International*, v. 103, p. 5-9.

Resende FV et al. (2007) **Cultivo de alface em sistema orgânico de produção**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças 16p.

Riethmuller-Haage I et al. (2006) Influence of the acetolactate synthase inhibitor metsulfuron-methyl on the operation, regulation and organization of photosynthesis in *Solanum nigrum*. **Photosynthesis Research** 88:331–341.

Rodrigues JD. (1995) Fisiologia da cana-de-açúcar. Botucatu: Instituto de Biociências - Universidade Estadual Paulista, 101p.

Ross MA, Childs DJ (1996) **Herbicide mode-of-action summary**. Cooperative Extension Service Publication WS-23, Purdue University, West Lafayette, IN. Disponível em: <<http://www.btny.purdue.edu/weedscience/moa/index.html>>. Acesso em: 20 jun 2019.

Santos CV (2004) Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. **Scientia Horticulturae** 103:93–99.

Shaaltiel Y, Gressel J (1986) Multienzyme oxygen radical detoxifying system correlated with paraquat resistance in *Coryza bonariensis*. **Pesticide Biochemistry and Physiology** 26:22-28.

Silva LA et al. (2016) Morpho-anatomical changes of pequi leaves (*Caryocar brasiliense* Cambess.) exposed to simulated drift of glyphosate. **Revista Árvore** 40, 4:669-677.

Raetano CG. Assistência de ar em pulverizadores de barras: interferências e potencial de uso no sistema de plantio direto. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**, Passo Fundo: Aldeia Norte; Fepaf, p. 105-119, 2011.

Song NH et al. (2007) Biological responses of wheat (*Triticum aestivum*) plants to the herbicide chlorotoluron in soils. **Chemosphere** 68:1779-1787.

Streit NM, Canterle LP, Canto MW, Hecktheuer LHH (2005) As clorofilas. **Ciência Rural** 35, 3:748-755.

Taiz L, Zeiger E. A. (2017) **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 888 p.

Takahashi EN et al. Consequências da deriva de clomazone e sulfentrazone em clones de *E. grandis* x *E. urophylla*. **Revista Árvore**, v33, n. 4, p.675-683, 2009 .

Timossi PC, Alves PLCA (2001). Efeitos da deriva de clomazone, aplicado isoladamente ou em mistura com ametryn, sobre características produtivas de laranjeira 'Hamlin'. **Planta Daninha** 19:295-304, 2001.

Trani EP et al. (1997) Hortaliças. In: **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 2ed, 285p.

Tuffi Santos LD et al. (2006) Intoxicação de eucalipto submetido à deriva simulada de diferentes herbicidas. **Planta daninha**, vol.24, n.3, pp.521-526.

USEPA (US Environmental Protection Agency). Introduction to pesticide drift. Washington, DC: U.S.Environmental Protection Agency, <http://www2.epa.gov/reducing-pesticide-drift/introduction-pesticide-drift>. 2014. Acessado em 23 de Abril de 2019.

Wagner Junior A et al. (2008) Deriva simulada de formulações comerciais de glyphosate sobre maracujazeiro amarelo. **Planta daninha**, v. 26, n. 3, p. 677-683.

Van Heerden PDR et al. (2015) Chemical ripening of sugarcane with trinexapac-ethyl (Moddus[®]), Mode of action and comparative efficacy, **Field Crops Research** 181:69-75.

Vital RG et al. (2017) Sunflower plant response to simulated drift of glyphosate and trinexapac-ethyl. **Planta Daninha** 35: 1-13.

Yamada T, Castro PRC. (2007) Glifosato, herbicida com singular modo de ação: efeitos secundários e implicações fisiológicas e agrônômicas. In: **Potafos**. 45 p.

Yamashita OM, Guimaraes SC (2006) Deriva simulada de glyphosate em algodoeiro: efeito de dose, cultivar e estágio de desenvolvimento. **Planta Daninha** 24: 821-826.

Wagner JF, Júnior AM (2014) Parâmetros fisiológicos e nutricionais de cultivares de soja resistentes ao glifosato em comparação com cultivares isogênicas próximas. **Ciência Rural** 3:393-399.

Zhao D et al. (2005) Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and hyperspectral reflectance properties of sorghum. **European Journal of Agronomy** 22: 391–403.

6. ANEXOS

6.1. 'Lucy Brown'

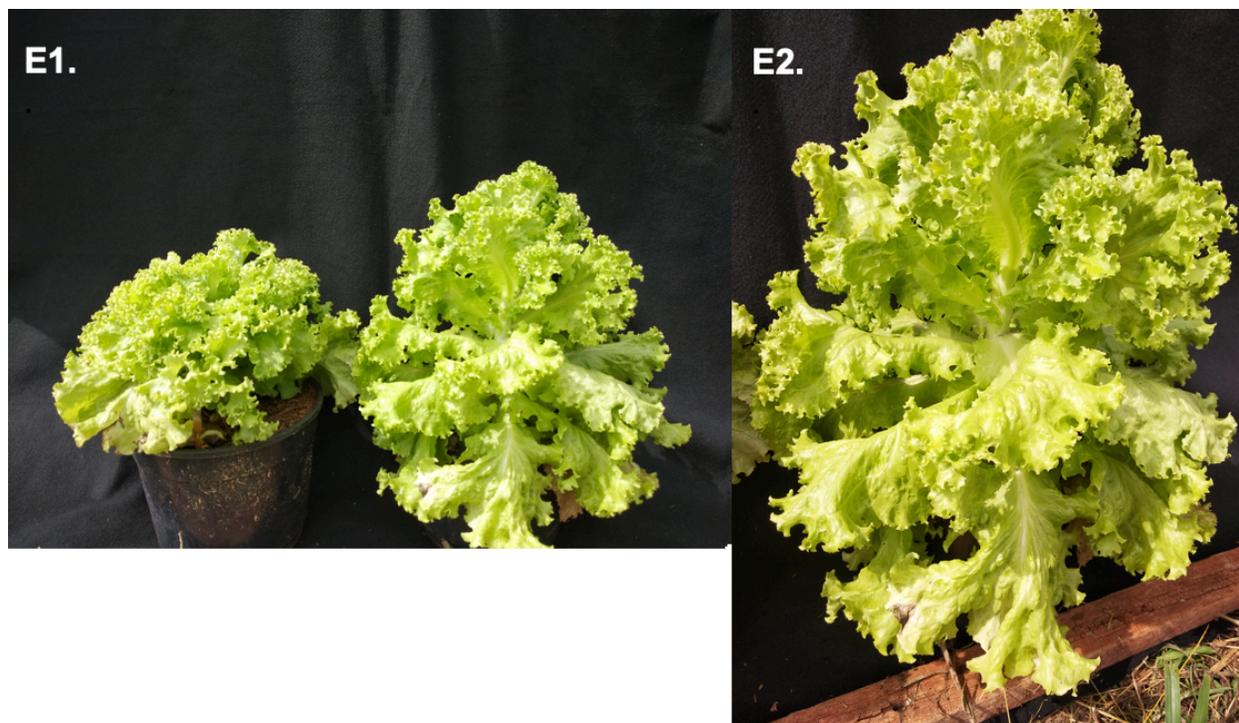




Sintomas visuais decorrentes da aplicação dos maturadores de cana-de-açúcar, aplicados em subdoses na alface 'Lucy Brown'. A – glyphosate; B – sulfometuron methyl; C - trinexapac ethyl. A1 (à esquerda, testemunha) e A2 representam os sintomas observados na subdose de 12%; B1 e B2 (à esquerda, testemunha) representam os sintomas observados com as subdoses de 3% e 12%, respectivamente; C1 (à esquerda, testemunha) e C2 representam os sintomas observados nas subdoses de 3% e 12%. Fotos retiradas na última avaliação, aos 20 DAA. Jaboticabal, SP, 2018.

6.2. 'Vanda'





Sintomas visuais decorrentes da aplicação dos maturadores de cana-de-açúcar, aplicados em subdoses, na alface 'Vanda'. D – sulfometuron methyl; E - trinexapac ethyl. D1 (à esquerda, testemunha) e D2 representam os sintomas observados na subdose de 12%; E1 (à esquerda, testemunha) e E2 representam os sintomas observados na subdoses 12%, mostrando pendoamento precoce da cultivar. Fotos retiradas na última avaliação, aos 20 DAA. Jaboticabal, SP, 2018.